DIE HISTORISCHE ENTWICKLUNG DER PHOTOGRAPHISCHEN OBJEKTIVE UND IHR ZUSAMMENHANG MIT DER AXIALEN MODULATIONSÜBERTRAGUNGSFUNKTION

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der naturwissenschaftlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Hermann O. Th. Diehl

aus München

München 1968

DIE HISTORISCHE ENTWICKLUNG DER PHOTOGRAPHISCHEN OBJEKTIVE UND IHR ZUSAMMENHANG MIT DER AXIALEN MODULATIONSÜBERTRAGUNGSFUNKTION

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der naturwissenschaftlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Hermann O. Th. Diehl

aus München

München 1968

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Berichterstatter: 1. Prof. Dr. Dr. Herbert Schober
2. Prof. Dr. Josef Brandmüller

Tag der mündlichen Prüfung: 11. Dezember 1968

Dissertationsdruck Réssy · München

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

ZUSAMMENFASSUNG 1

EINLEITUNG 3

DIE MESSUNG DER MODULATIONSÜBERTRAGUNGSFUNKTION (MÜF) NACH DEM MOIREVERFAHREN 22

I. Mechanisch-optischer Aufbau der Moiréapparatur 25

A. Beleuchtungseinheit 26
B. Die Moiréeinheit 28
C. Die Halterung der Prüflinge 29
D. Die Empfängereinheit 31

II. Die Aufbereitung des elektrischen Signals .. 32
III. Gesamtübersicht der Moiré-Apparatur 34
IV. Gesamtfehler und Reproduzierbarkeits-messungen 36

1. Zufällige Gesamtfehler 36
2. Reproduzierbarkeit der Messungen 36
3. Vergleichsmessungen 38

DIE MODULATIONSÜBERTRAGUNGSFUNKTIONEN HISTORISCHER OBJEKTIVE 39

Bemerkungen zu den Messungen 39

I. Die historische Entwicklung der Photoobjektive 51

Das Simplet 51
Die Landschaftslinse nach Chevalier (Achromate) 54
Das Periskop von Steinheil 58
Die Aplanate: 62
Der Landschaftsaplanat von Steinheil ... 63
Der Weitwinkelaplanat von Steinheil ... 65
Der Portraitaplanat von Busch 67

Seite

Der Portrait-Antiplanet von Steinheil 70
Der Gruppenaplanat von Steinheil 73
Der Rapid-Antiplanet von Steinheil 75
Das Rapid-Rectilinear von Dallmeyer 78
Das Petzval-Objektiv 81
Die Anastigmate: Das Pantoskop 85
Die Doppelanastigmate: 88
Das Protar von Zeiss 88
Das Protar-Satzobjektiv von Zeiss 89
Das Dagor von Goerz 96
Der Orthostigmat von Steinheil 102
Das Celor (Syntor) von Goerz 108
Das Eurynar von Rodenstock 115
Das Dogmar von Goerz 119

Die Anastigmate mit drei in Luft stehenden Gliedern 123
Die Cooke-Linse nach H.D. Taylors Patent 123
Das Cassar von Steinheil 128
Die Stigmatic Lens von Dallmeyer 132
Das Tessar von Zeiss 134
Das Heliar von Voigtländer 142
Das Sonnar von Zeiss 148
Das Hektor von Leitz 157

Die Anastigmate vom Gauß-Typ: 160
Das Planar von Zeiss 160
Der Aristostigmat von Meyer Görlitz .. 165
Das Omnar von Busch 171
Das Summicron von Leitz 174
Das Heligon von Rodenstock 178

Seite

II. Versuch eines Vergleichs zwischen den Objektiven 182

A. Voraussetzungen für einen direkten Vergleich 182

B. Normierung aller Objektive auf gleiche Verhältnisse 185

C. Vergleich der Objektive 186

1. Objektive gleicher Bauart mit unterschiedlicher Brennweite 186

2. Vergleich der Weit- und Schmalwinkel-Objektive 188

3. Vergleich von Hinterglied und Gesamtsystem der Doppelanastigmate 190

4. Vergleich der alten Normalobjektive . 193

5. Vergleich der Doppelanastigmate 195

6. Vergleich der Objektive vom Triplet- und Gauß-Typ 197

D. Zusammenfassung des Vergleichs 202

III. Vergleich der Objektive mittels Gütezahlen 204

LITERATURVERZEICHNIS 218

ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde die axiale Modulationsübertragungsfunktion (MÜF) eines repräsentativen Querschnitts von historischen Objektiven aus dem Besitz des Deutschen Museums in München und einiger anderer Leihgeber gemessen.

Durchgeführt wurden diese Messungen an einer Apparatur, die nach dem von A. LOHMANN (1, 2) angegebenen MOIRE-Verfahren erstellt worden war.

Ziel der Arbeit war die Ergänzung der bisherigen Charakterisierung von historischen Photoobjektiven durch die Angabe ihrer axialen MÜF. Zusätzlich sollte dabei festgestellt werden, inwieweit sich die Entwicklung der Objektive in der Verbesserung dieser Funktion ausdrückt.

Entsprechend der historischen Entwicklung werden die bekannten Eigenschaften der Objektive der in der Achse gemessenen MÜF gegenübergestellt, wobei sich im allgemeinen eine gute Übereinstimmung zwischen beiden Darstellungsweisen ergab.

Anschließend wurde ein direkter Vergleich der Übertragungsfunktion der einzelnen Objektivtypen (unter gleichartigen Voraussetzungen: reduziert auf gleiche Brennweite und bei gleicher Lichtstärke) durchgeführt. Unter diesen Voraussetzungen kommt die fortschreitende Entwicklung im Bau der Objektive über den betrachteten Zeitraum (von den ersten Anfängen an bis in die neueste Zeit) in der Verbesserung der axialen MÜF deutlich zum Ausdruck.

Zusätzlich wurden die gemessenen historischen Objektive auch nach verschiedenen bekannten Gütekriterien, die sich aus der MÜF gewinnen lassen, verglichen. Es fand sich, daß derartige Angaben zwar in sehr begrenztem Maße ebenfalls geeignet sind, bei Vergleichen eine Rangfolge anzugeben, daß sie aber keineswegs eine eindeutige Aussage über die Abbildungsqualität geben. Vor allem bringen sie gegenüber der MÜF in dieser Hinsicht keine zusätzlichen Ergebnisse.

EINLEITUNG

Die Abbildungsprozesse in quasimonochromatischem Licht können in der rechnenden Optik durch Integraltransformationen der räumlichen Kohärenzfunktion beschrieben werden (vergl. 3, 4). Beschränkt man sich auf isoplanatische Abbildungen, das heißt auf Abbildungen aus einem Bereich, in dem die Leuchtdichteverteilung im Bild nicht von der Lage des Punktes in diesem Bereich abhängt, so ist für die beiden Spezialfälle der kohärenten und inkohärenten Abbildung diese Transformation über den Formalismus der Fourier-Theorie einfach zu behandeln, wie die grundlegenden Arbeiten von DUFFIEUX (5) und SCHADE (6, 7, 8) gezeigt haben. Danach läßt sich die Bildentstehung durch eine Transformation - der komplexen Amplituden im kohärenten Fall, der Intensitäten im inkohärenten Fall - darstellen.
Die Durchrechnung der optischen Abbildung von selbstleuchtenden oder inkohärent beleuchteten Objekten mit dem Formalismus der Fourier-Theorie liefert die bekannte Beziehung zwischen den Intensitätsverteilungen von Objekt und Bild:
Die Fourier Transformierte der Intensitätsverteilung im Bild ist gleich dem Produkt aus der "Optischen Übertragungsfunktion" mit der Fourier Transformierten der Intensitätsverteilung des Objekts. Eine Ableitung dieser Beziehung ist, außer bei den Arbeiten von DUFFIEUX (5), LINFOOT (9), LUKOSZ (10, 11), SCHADE (6, 7, 8) auch in vielen anderen allgemeineren Abhandlungen, z.B. FRANKE (12), BORN and WOLF (4) und RÖHLER (13) zu finden. Man kann sich jede Objekt- und Bildstruktur aus einem Ortsfrequenzspektrum, d.h. aus einer Überlagerung von sinusförmigen Rastern verschiedener Periodenlänge und unterschiedlichen Kontrasten zusammengesetzt denken. Umgekehrt liefert die Fourier

Transformierte einer gegebenen Intensitätsverteilung ein derartiges Ortsfrequenzspektrum (die Ortsfrequenz ist der Periodenlänge umgekehrt proportional und hat die Dimension Linienpaare/mm). Die "Optische Übertragungsfunktion" (OÜF) in obiger Beziehung gibt demnach die Frequenzdurchlässigkeit des optischen Überträgersystems an, d.h. die Veränderungen, die durch das Abbildungssystem an Amplitude und Phasen der sinusförmigen Ortsfrequenz entstehen. Mit dieser Charakterisierung der OÜF bietet sich folgendes Verfahren zu ihrer Bestimmung an: Ein inkohärent beleuchtetes Gitter mit sinusförmiger Transparenz wird sowohl über die zu prüfende Optik als auch direkt ausphotometriert. Dies kann über zwei gleiche Sekundärelektronenvervielfacher (SEV) erfolgen, die mit einem Spalt die beiden Bilder abtasten und die Transparenzverteilungen in proportionale Photoströme umwandeln. Ein Vergleich der beiden Signale nach Amplitude und Phase liefert die gesuchte OÜF für die Ortsfrequenz des jeweils verwendeten Testgitters.

Für viele praktische Fälle ist es jedoch ausreichend zu wissen, wie das Abbildungssystem die Amplituden von Sinusgittern in Abhängigkeit von deren Ortsfrequenz verändert. Man muß hierfür nur den Betrag der OÜF bestimmen, der analog zum Modulationsgrad in der Nachrichtentechnik als Modulationsübertragungsfunktion (im Text als MÜF, in den Kurvenblättern als D (f) abgekürzt) bezeichnet wird.
Es kann nachgewiesen werden (116), daß diese MÜF dem photometrischen Kontrast[1] der übertragenen Sinusgitter

---

[1] Photometrischer Kontrast:

$$K = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

I_{max} = max.Lichtintensität i.Bild
I_{min} = min.Lichtintensität i.Bild

entspricht. Eine Messung von diesem ist einfacher durchzuführen als ein direkter Amplitudenvergleich.
Die Normierung der MÜF erfolgt dabei derart, daß die Ortsfrequenz 0 Linienpaare/mm - mit anderen Worten ein Sinusgitter mit unendlich langen Perioden - mit dem Kontrast 1 übertragen wird.

Die optische Übertragungsfunktion OÜF erfüllt die Forderungen, die an ein Gütekriterium für die optische Abbildung gestellt werden müssen.
Sie ist (1) in der Lage, die Abbildung beliebiger Objekte zu beschreiben (vergl. S. 3), kombinierbar, theoretisch und experimentiell gut erfaßbar.
Die Kombinierbarkeit beruht auf dem Fourier-Theorem, das den bekannten Zusammenhang zwischen der OÜF einer Abbildungskette und dem OÜF der einzelnen Glieder gewährleistet.

$$\text{OÜF (gesamt)} = \prod \text{OÜF (der Glieder)}$$

Damit ist es möglich, z.B. die Gesamtabbildung bei der Photographie in den einzelnen Schritten: Objektiv, Negativ, Vergrößerungsobjektiv und Positiv gesondert zu behandeln.
Neben den Objektiven, deren Betrachtung den weitesten Raum einnimmt, sind in vielen Arbeiten Übertragungsfunktionen von Filmmaterialien bestimmt worden (z.B. 14, 15, 16, 17, 18 u.a.m.).

Dabei sind auch die Grenzen aufgezeichnet worden, die durch Nichtlinearitäten im Photoprozeß gegeben sind und die z.B. dazu führen können, daß bei einem sehr guten Objektiv das beste Luftbild nicht immer das beste Bild für die Aufnahme auf dem Film ist (19).

Wie weitreichend die Anwendungsmöglichkeiten der OÜF heute sind, zeigt eine Veröffentlichung von E.H. Mc GLAMERY (20). Es wird die MÜF von Turbulenzen in der Luft gleichzeitig mit der Luftbildaufnahme gemessen und mit diesen Werten und der Hilfe eines Computers das Bild korrigiert.

Nur bei dem letzten Schritt der Abbildungskette, dem menschlichen Gesichtssinn, ist es nicht möglich, eine Übertragungsfunktion anzugeben. Zwar kann der optische Apparat, d.h. das Auge und seine Aberration bis zur Netzhaut, durch eine Übertragungsfunktion gekennzeichnet werden (21), nicht jedoch das subjektive Güteempfinden, das der Betrachter von der fertigen Aufnahme bekommt. Selbst die neuesten Bildgüteuntersuchungen können keine Objekt- und Betrachter- unabhängigen Zusammenhänge geben (vergl. dazu S. 10).

Die Übertragungsfunktion bildet zweifellos also ein objektives Kriterium zur Kennzeichnung der spezifischen Abbildungsleistung von Gliedern einer optischen Abbildungskette; ein mit der subjektiven Wertung übereinstimmendes Gütemaß ist sie jedoch nicht.

Da auch bei der Anwendung der linearen Multiplikation der Übertragungsterme aus Kohärenzgründen Einschränkungen zu machen sind (vergl. 22, 23, 24), konnten sich die übertriebenen Hoffnungen, die man am Anfang auf die OÜF setzte, nicht erfüllen. Schon anfangs der sechziger Jahre gab es eine gewisse Skepsis bezüglich der universellen Verwendbarkeit der OÜF (25).

Durch die steigende Zahl nachfolgender Arbeiten, die sich mit der OÜF speziell bei Photoobjektiven befassen, und den vielen daraus gewonnenen Erkenntnissen ist die ursprüngliche Skepsis stark gemildert worden, insbesondere deshalb, weil die OÜF sowohl am gegebenen System leicht zu

messen, wie auch aus der Beugung und den Aberrationen zu berechnen ist. Selbst die große Anzahl von Übertragungsfunktionen, die zu einer vollständigen Übersicht über ein Objektiv notwendig waren - nach FRANKE (25) ungefähr 480 gegenüber 40 Aberrationskurven - konnte dem keinen Abbruch tun, da für die meisten Untersuchungen eine Begrenzung der Parameter genügt.

In der experimentiellen Erfassung der OÜF haben sich neben den direkten Verfahren - die mit Abwandlungen alle nach dem auf Seite 4 angegebenem Prinzip arbeiten - die Bestimmung durch Fouriertransformation des Kantenbildes und durch Bildung der Autokorrelationsfunktion der Pupillenfunktion mittels Interferometeranordnungen bewährt. Es existiert eine Vielzahl von Veröffentlichungen, in denen erprobte Meßverfahren hierfür beschrieben werden (1, 26 - 43, 129).

Vergleichsmessungen zwischen mehreren dieser Verfahren an gleichen Objektiven haben gute Übereinstimmung ergeben (44, 45).

Die Theoretische Erfassung der OÜF - d.h. ihre Berechnung als objektives Maß aus der Beugung und den Bildfehlern - hat besonders durch den Einsatz von großen digitalen Computern bei den exakten Lösungen und von Analogrechnern zur näherungsweisen Bestimmung großen Auftrieb bekommen. Eine Menge von Arbeiten ist hierüber erschienen, so z.B. von HOPKINS (46, 47, 48, 49), BLACK und LINFOOT (50), BARAKAT (51, 52) und vielen anderen (3, 53 - 58).

Die Daten für die Berechnung der OÜF können entweder aus experimentiellen Aberrationsmessungen an einem Prüfling oder aus den Ergebnissen der Strahlendurchbrechung an einem theoretischen System gewonnen werden. Die Abhängigkeit der OÜF von Größe und Gestalt der verschiedensten Bildfehler, inner- und außerhalb der Achse,

sowie von der Fokussierung, können auf diese Weise durch geeignete Parametervariationen rechnerisch untersucht werden. Man erhält so Kurvenscharen, die neue Erkenntnisse über derartige Zusammenhänge übersichtlich darstellen (z.B. 54, 58, 59 - 64).

Auch die zur Prüfung der Übereinstimmung von Theorie und Experiment durchgeführten Vergleiche zwischen gerechneten und gemessenen Übertragungsfunktionen sind befriedigend ausgefallen (z.B. 57, 64).

Neben diesen mehr theoretischen Anwendungen hat sich die OÜF auch im Bereich der industriellen Fertigung einen Platz erworben. So verwendet die Firma Zeiss z.B. schon seit längerer Zeit eine automatische Einrichtung, die eine Endkontrolle der Objektive nach der MÜF durchführt (65).

Auch in der Konstruktion von neuen Objektiven oder bei der Verbesserung bestehender Systeme wird häufig das Verhalten der OÜF betrachtet. Unter Umständen kann durch das Aufstellen ihrer Werte in Tabellenform, bei der sich die Aberrationen in kleinen Beträgen ändern, der Konstrukteur daraus Schlüsse auf die notwendige geometrisch-optische Korrektur ziehen, wie er umgekehrt auch aus den gemessenen Aberrationen die OÜF bekommen kann. In neuester Zeit wird sie in Verbindung mit leistungsstarken Computern sogar schon zur automatischen Korrektion herangezogen. In einer nach der Seidel'schen Theorie ausgeführten Vorwahl werden Konstruktionsparameter so lange variiert, bis die OÜF im interessierenden Gebiet den Anforderungen entspricht oder bis ein integrales Maß aus einer Menge verschiedener OÜF optimal wird (66, 67, 68). Die praktische Brauchbarkeit dieser Methodik wird allerdings von verschiedenen Seiten stark angezweifelt.

So sehr sich die OÜF bei der Beschreibung und Kennzeich-

nung der Abbildungseigenschaften bewährt hat, hält die Suche nach einer Kennzahl, die sich als Maß für die Qualität der subjektiv empfundenen Bildgüte eignet, weiterhin an. Diese gesuchte Gütezahl sollte sich durch eine geeignete Vorschrift aus den objektiv meßbaren Größen des Prüflings berechnen lassen.

In diese Richtung zielen beispielsweise die Überlegungen von BARNSTEDT (69), der die OÜF-Kurven von Photoobjektiven mit Gewichtsfaktoren mulitpliziert, welche die Übertragungsfunktion der restlichen Abbildungskette bis zum Auge enthalten. Die Eigenschaften des Auges werden durch eine Kurve der Kontrastempfindlichkeit bei einem geeigneten Betrachtungsabstand berücksichtigt (70). Als Gütezahl verwendet BARNSTEDT die Fläche zwischen diesen beiden Kurven bis zum gemeinsamen Schnittpunkt. Die Normierung erfolgt auf ein aberrations- und beugungsfreies Objektiv mit MÜF = const = 1.
Über ein Zusammenfallen dieser Zahlen mit subjektiv durchgeführten Meßreihen wird nicht berichtet, und es sieht auch nach dem heutigen Stand der Dinge nicht so aus, als ob es überhaupt möglich sei, Gütezahlen zu bekommen, die vom jeweiligen Objekt und Betrachter unabhängig sind.

Eine informationstheoretische Behandlung des Problems "Bildgüte" ergibt, daß die Information - und damit auch das Qualitätsurteil - von dem Wiener Spektrum der Objektverteilung abhängt (vergl. dazu 13).

Auch die praktischen Untersuchungen bestätigen dies und es zeigt sich, daß sogar eine Einbeziehung des Objektspektrums für eine übereinstimmende Beurteilung noch nicht ausreichen dürfte, da die interessierenden Details gegen die unwichtige Gesamtinformation nur mit unbekannt geringem Gewicht im Objektspektrum vertreten sind. So ergibt sich, daß wegen der unterschiedlich verwendeten Motive auch die Beurteilungen und damit die Vorschläge

für die Gütezahlen in den verschiedenen Arbeiten differrieren. Eines kann man jedoch in fast allen neueren Arbeiten feststellen, daß die MÜF mit den Kriterien in engerem Zusammenhang steht.

F. SCOTT und R.E. HUFNAGEL berichten z.B. in ihren vergleichenden Untersuchungen, daß alle getesteten Kriterien nicht richtig sind (71) und daß sie selbst aber auch noch nichts Passendes gefunden haben.
Während SCHADE (72) das Integral über die quadrierte MÜF für entscheidend hält, spielt bei HEYNACHER (73) das Integral über die MÜF - genauer gesagt der Logarithmus über das Integral - eine wesentliche Rolle. Integriert wird bei HEYNACHER bis zu einer bestimmten Grenzfrequenz, die bezogen auf die konventionelle Sehweite, 8 L p/mm beträgt, entsprechend auch den Rosenhauer'schen Untersuchungen (70). Zur Erzielung hoher Bildgüte wäre es demnach erforderlich, die Fläche unter der MÜF möglichst groß zu machen.

In der vielleicht umfassendsten Arbeit über dieses Thema, der Dissertation von BIEDERMANN (74), erweist sich auch das Integral über die MÜF als Grundlage für die Bewertung. Auch hier ergibt sich für die beste Korrelation zwischen den physikalischen Bildeigenschaften und der subjektiven Bildgüte ein Ausdruck, der den Logarithmus des Integrals über die MÜF enthält, die hier allerdings mit einer frequenzabhängigen Bewertungsfunktion multipliziert ist. Das Integral wird bis zu der Frequenz genommen, an der der Kontrast auf 15 % abgefallen ist. BIEDERMANN betrachtet diese Grenze als einen plausiblen, doch willkürlich gewählten Wert (vergl. hierzu auch S. 206).
Die erwähnte Bewertungsfunktion gilt jedoch nur in Strenge für das Objekt, für das sie aufgestellt wurde. Je nach Motiv und Interesse des Beobachters werden nämlich die verschiedenen Frequenzbereiche unterschiedlich

bewertet, so daß sie mit wechselndem Wirkungsgrad zum Güteeindruck beitragen. Zudem sind nur "Fachleute" in der Lage, bei der Beurteilung kompetente Urteile abzugeben, da Laien leichter zufriedenzustellen sind, dafür aber keine extremen Urteile abgeben. Es zeichnet sich also auch hier ab, daß man kein allgemeingültiges Gütemaß erwarten kann: je nach abzubildendem Gegenstand schwankt die Anforderung an die physikalischen Eigenschaften - d.h. die Bandbreite der MÜF bis zu einem Faktor 2. (Grenzfrequenz bei Portraits = halbe Grenzfrequenz von Landschaftsaufnahmen!) Geringere Schwankungen treten bei bestimmten Fragestellungen auf, z.B. wenn nur nach subjektiver "Qualität" oder speziell nach "Schärfe" gefragt wird. Auch ergibt sich für "Sachaufnahmen" (z.B. Stillleben, die sehr kleine Details mit geringem Leuchtdichteumfang enthalten) eine weniger gute Korrelation als für andere Motive. MÜF und Bewertungsfunktion können also auch hier nur sehr beschränkt Aussagen über die Bildgüte machen.

Bemerkenswert ist vielleicht noch ein Ergebnis dieser Untersuchung von BIEDERMANN: im Bereich der vom Betrachter noch bewerteten Frequenzen ergibt sich ein gleichmäßiger Einfluß von den hohen und den niedrigen Frequenzen auf den Gesamteindruck (entsprechend kleinen und großen Details). Mit anderen Worten: Übertragungsfunktionen verschiedener Gestalt werden im weiten Rahmen gleich bewertet, solange das Integral den gleichen Wert einnimmt. Eine am Anfang stark abfallende, aber lang auslaufende MÜF kann demnach denselben Güteeindruck hervorrufen wie eine andere, die am Anfang bei hohen Kontrasten bleibt, dafür dann aber rasch gegen Null geht. Die Bildgüte hängt also mehr von den übertragenen Amplituden ab als von der übertragenden Energie, die dem Quadrat der Amplituden entspricht.

Neben diesen Versuchen, die Korrelation von physikalischen Daten und subjektiver Empfindung aufzufinden, hat es viele Untersuchungen gegeben, um einfach zu messende Größen in Relation zu dem subjektiven Güteurteil zu stellen.
Eine vergleichende Diskussion der hierzu folgenden Qualitätsmaße ist in der Dissertation von KÄMMERER (75) zu finden.

Erste Versuche in dieser Richtung sind die Arbeiten von FLÜGGE (76) und die von HUBER (77), der sich mit Flügges Kriterien auseinandersetzt. Beide sind jedoch als Maßzahl für die visuelle Bildgüteempfindung ungeeignet (75).
Die weiteren Kriterien dieser Gruppe beziehen sich alle auf die "Bildschärfe", die dem Ausdruck "Sharpness" im englischen Sprachgebrauch entspricht (78) und die mit dem relativen Strukturinhalt (s. unter Linfoot, S. 17) des Bildes in enger Beziehung steht. Während bei der Arbeit von KROEBEL (79) kein Zusammenhang mit der MÜF angegeben ist, besteht bei den restlichen Kriterien eine Beziehung zwischen den Gütezahlen und der MÜF. KÄMMERER (75) findet eine enge Korrespondenz zwischen seinem Maß: der "minimalen Linienbreit" und der Anzahl der Linienpaare/mm, die bei einem Bildkontrast von 0,7 noch gerade aufgelöst wird (s. dazu auch S. 207).

Dieser Wert entspricht in etwa auch dem von LUKOSZ definierten "Frequenzbereich der kontrastrichtigen Wiedergabe". Weiter stellt KÄMMERER eine Korrespondenz zwischen seiner minimalen Linienbreite und dem Minimalobjektdurchmesser von HARTMANN (80) sowie auch mit der "acutance" von HIGGINS her (81 - 84).

Für Minimalobjekt und minimale Linienbreite wird bei KÄMMERER eine gute Übereinstimmung mit den subjektiven Beurteilungen von 2 verschiedenen Testaufnahmen

(Kircheninterieur, Motorradfahrer) festgestellt. Der Verfasser weist aber trotzdem darauf hin, daß die Kriterien zur Beschreibung der absoluten Abbildungsgüte nicht hinreichend zu sein scheinen, da das Auflösungsvermögen - hier im Sinne von "Detailreichtum" (SLEVOGT) oder "Fidelität" (LINFOOT) oder "Abbildungstreue" (FRANKE) - unter Umständen die Bildempfindung in nicht vernachlässigbarer Weise beeinflußt, so daß die Beurteilung nach dem Minimalobjekt "zu gut" wird.

Da man die Photoobjektive für Aufnahmen der verschiedensten Objekte verwendet und es nach dem bisher Gesagten kein objektunabhängiges Qualitätsmaß gibt, finden in der Regel Kriterien Verwendung, die auf einer vom Ortsfrequenzspektrum des Objekts unabhängigen Bewertung beruhen. Diese Kriterien beziehen sich hauptsächlich auf die Eigenschaften des Punktbildes oder die OÜF des zu untersuchenden Systems und stellen ein quantitatives Maß für die durch die Abbildung erzeugten Unschärfen des Bildes dar. Da unterschiedliche Abbildungsaufgaben auch verschiedene Bewertungen erfordern, sind die einzelnen Kriterien nach bestimmten, vom jeweiligen Vorhaben abhängigen Gesichtspunkten ausgerichtet. Dadurch sind sie von dem Ziel der Gütezahl, die den subjektiven Aspekt berücksichtigt, wieder weiter entfernt als die bisher besprochenen Gütemaße, wenn auch diese vielfach die folgenden Kriterien als Bestandteile enthalten.

Als ältestes und meist verbreitetes Maß für die Abbildung hat sich das Auflösungsvermögen bis in die heutigen Tage gehalten. Es geht bis auf Lord Rayleigh zurück, der es so wählte, daß es nach seiner Meinung dem Verhalten des Auges an der Empfindlichkeitsschwelle entsprach. Die meisten neueren Arbeiten (10, 75, 85, 88) zeigen jedoch, daß das Auflösungsvermögen als Kriterium für die Bildqualität von photographischen Objektiven

aus folgenden Gründen überhaupt abzulehnen ist:
Die Feststellung des visuellen Auflösungsvermögens ist wegen der Abhängigkeit der visuellen Kontrastschwelle von den verschiedensten Einflüssen mit Unsicherheiten verbunden. Bei der Kleinheit der relativen Kontrastschwelle des Auges, die sicher weniger als 0,2 beträgt und damit das Rayleigh'sche Auflösungskriterium unter bestimmten Voraussetzungen stark übertrifft, liegt das visuelle Auflösungsvermögen bei sehr kleinen Werten des optischen Übertragungsfaktors und damit bei sehr hohen Frequenzen, die für die Abbildung eigentlich unwesentlich sind. Zudem liefern die verschiedensten verwendeten Testvorlagen selbst bei objektiven Methoden unterschiedliche Ergebnisse (vergl. 86). Endlich ist zu bedenken, daß das Auflösungsvermögen nicht nur von der Beugung sondern auch von der Gesamtzahl und Verteilung der in der Summation - zeit gemessenen Photonen abhängt, daß es aber nicht nur als wellenoptischer sondern auch als quantenoptischer Vorgang zu betrachten ist (87).
Trotz einer Fülle von Einwendungen auch von anderen Seiten ist das Auflösungsvermögen bei der Beurteilung von Photoobjektiven noch immer stark verbreitet (z.B. 89), in einigen speziellen Gebieten, wie bei der Beurteilung von Luftbildaufnahmen, besteht allerdings auch eine gewisse Berechtigung (vergl. 90).
Bereits Lord Rayleigh hatte nicht das Auflösungsvermögen als Bildgütemaß verwendet, er benutzte vielmehr die normierte Zentralhelligkeit im Lichtgebirge - d.h. die Leuchtdichte im Zentrum des Punktbildes, bezogen auf den entsprechenden Wert eines idealen, bei reiner Beugung entstehenden Punktbildes (91, 92). In diesem sogenannten Rayleigh'schen 80 % Kriterium wollte er die Grenze für eine praktisch fehlerfreie Abbildung festlegen. Diese Größe ist allgemein nach einer Arbeit von K. STREHL (93) als Strehl'sche Definitionshelligkeit bekannt. Eine gute Korrelation in einigen Fällen zwischen

dem Wert von 80 % Definitionshelligkeit und einer dazugehörigen Wellenaberration von $\lambda/4$ führte dazu, daß in der Folgezeit das $\lambda/4$ kriterium - unter fälschlicher Bezugnahme auf Lord Rayleigh - oft an Stelle der Definitionshelligkeit für die gewissermaßen optimale Abbildung verwendet wurde. H. SLEVOGT (94) hat jedoch gezeigt, daß die $\lambda/4$-Forderung weder hinreichend noch notwendig für die gewünschte Definitionshelligkeit von mehr als 80 % ist. BARAKAT (95) hat ein Gegenbeispiel gegeben, wo eine Wellenaberration von 1/4 Wellenlänge einer Definitionshelligkeit von 70 % entspricht.

Die Definitionshelligkeit spielt in der Bewertung der Mikroskop- und Fernrohroptik eine größere Rolle als bei den photographischen Objektiven. Daß sie jedoch auch hier wieder zunehmend an Bedeutung gewonnen hat, verdankt sie ihrem engen Zusammenhang mit der Wellenaberration der optischen Systeme (s. z.B. 13 auf S. 200). Es lassen sich relativ leicht verschiedene Aberrationen so gegeneinander ausgleichen, daß die Definitionshelligkeit ein Optimum wird (96, 97).
Eine Weiterführung hiervon ist die Anwendung der Definitionshelligkeit als Gütekriterium für die automatische Objektivkonstruktion mit Hilfe von Computern (98). Ein weiterer Vorteil der Definitionshelligkeit ist ihr einfacher Zusammenhang mit der MÜF: Sie läßt sich als Quotient des Integrals über die reale, am Objektiv festgestellte MÜF mit dem Integral über die MÜF bei reiner Beugung angeben (vergl. dazu S. 208). Dieser Ausdruck entspricht aber umgekehrt auch einer Abwandlung des Linfoot'schen Korrelationsmaßes (s. S. 17), so daß dieses und die Definitionshelligkeit als gleichwertig betrachtet werden können.

Eine weitere Bewertung der Abbildungsqualität stellt das Gaußmoment des Punkt- oder Spaltbildes dar. Einen

Namen hat es von Untersuchungen von C.F. GAUSS über die Ausdehnung des Punktbildes, die ihn zu seinen berühmten statistischen Untersuchungen angeregt haben. Während die Definitionshelligkeit nur die Zentralhelligkeit im Punktbild betrachtet, berücksichtigt man beim Gaußmoment dessen Ausdehnung. Auch hier läßt sich unter geeigneten Voraussetzungen ein Zusammenhang mit der MÜF herstellen, wenn man diese um den Nullpunkt entwickelt. Man erhält die Abnahme der MÜF bei kleinen Ortsfrequenzen proportional dem Gaußmoment (eine ausführliche Darstellung hierüber s. 13 auf S. 202).
Verwendung findet das Gaußmoment in Optimierungsprozessen ähnlich wie die Definitionshelligkeit, da man die einzelnen Beiträge der Aberration zum Gaußmoment berechnen kann (1, 10). Weitere Untersuchungen bezüglich Abbildungsgüte und Gaußmoment sind in den folgenden Arbeiten erfolgt (99, 100, 101).

Wie bereits bei den Kriterien von KAMMERER erwähnt, scheint es unmöglich zu sein, mit einer einzigen Gütezahl die Qualität der Abbildung festzulegen, da für die subjektive Bildempfindung mehrere "primäre Qualitäten" bestimmend sind.
Nach SLEVOGT (102), der drei voneinander unabhängige primäre Qualitäten vertritt: Detailreichtum (entsprechend dem Auslösungsvermögen), Schärfe (entsprechend der Gradiententreue), Kontrastreichtum (entsprechend der Klarheit des Bildes), werden mindestens drei verschiedene objektive Meßzahlen benötigt, um den Begriff der Bildgüte zu erfassen. Auch bei anderen Autoren sind mehrere unabhängige primäre Qualitäten erforderlich, die sich zum Gesamteindruck zusammensetzen (77, 103).

Drei klar umrissene Bildgütekriterien hat LINFOOT angegeben (9, 104, 105, 106, 107). Er bezeichnet sie mit Fidelität (MF) - entsprechend Abbildungstreue im

deutschen Sprachgebrauch - relativem Strukturinhalt (MS) und Korrelationsqualität des Bildes (MK). Sie lassen sich für den gesamten Bereich des Bildfeldes angeben und erlauben auch eine Einbeziehung der anderen Glieder der Abbildungskette. Die Kriterien sind aus der OuF berechenbar und durch die folgende Beziehung voneinander abhängig:

$$MF = 2\,MK - MS$$

In ihrer ursprünglichen Fassung sind sie unter Einbeziehung der Objektstruktur formuliert und deshalb den konkreten Erfordernissen besser angepaßt als die Ausdrücke, die die Objektstruktur vernachlässigen. Da sie jedoch in dieser Form nur sehr unbequem zu handhaben sind, wurden sie mehrfach derart abgewandelt, daß sie objektunabhängig werden. Dies kann dadurch geschehen, daß man für die Objektverteilung ein weißes Spektrum annimmt.
I.L. O'NEILL (97) ging hiervon zu relativen Kriterien über, indem er die jeweiligen Integrale durch solche dividierte, die einem idealen, dh. nur der Beugung unterliegenden System entsprechen. Auf diese Weise sind die Beugungseinflüsse eliminiert , und man vergleicht die Objektive nur bezüglich der Korrektur ihrer geometrisch-optischen Fehler (s. S. 208). Die bei O'NEILL dem Korrelationsmaß entsprechende relative Größe entspricht der oben schon erwähnten Definitionshelligkeit von STREHL.

Berücksichtigt man, daß die MÜF eines gegebenen optischen Systems von der Defokussierung abhängt, so zeigt sich, daß wegen des unterschiedlichen Eingehens der MÜF in die verschiedenen Bewertungsmaße eine Optimierung derselben durch Defokussierung zu unterschiedlichen Einstellebenen führt (vergl. dazu S. 42, optimale Fokussierung).
Ein anderer Übergang von den Linfoot'schen Kriterien zu einfacheren kann durch die Einführung eines Objekts

erfolgen, das aus einer Vielzahl von Sinusgittern gleichen Kontrasts, aber unterschiedlicher Linienfrequenz gebildet wird. Hier erfolgt gleichzeitig ein Übergang von 2-dimensionalen Objekten zu 1-dimensionalen, so daß die Korrelationsgüte gleich dem Integral über die MÜF wird - bei HERTEL (78) "relative Gipfelhöhe" genannt - und der relative Strukturinhalt sich als Integral über das Quadrat der MÜF ergibt - bei HERTEL "Schroffheit" genannt - (vergl. hierzug S. 204). An den Zusammenhang dieser Größe mit den subjektiven Gütemaßen sei hier noch einmal erinnert.

Eine konsequente Weiterführung des Gedankens über die oberen wirksamen Grenzfrequenzen für diese Integrale, wie sie bereits bei HEYMACHER, BIEDERMANN und LUKOSZ eingeführt waren, wird bei FRANKE gegeben (108). Er berücksichtigt darin den unterschiedlichen Grad der Beanspruchung, der an die MÜF je nach Brennweite des zu untersuchenden Objektivs und damit nötiger Nachvergrößerung gestellt wird (vergl. hierzu S. 210).

Alle bisher erwähnten Möglichkeiten zur Beschreibung der Abbildungseigenschaften von Objektiven und die Versuche, eine Gütezahl im Sinne der subjektiven Bildqualität zu finden, haben bezeichnenderweise nur im internen Gebrauch der mit Optik beschäftigten Wissenschaftler in Forschungsstätten und Industrielabors Anwendung gefunden. Die einzige Ausnahme macht das Auflösungsvermögen, das für den vorgesehenen Zweck aber denkbar ungeeignet ist und über das auch wegen der Problematik seiner Definition im allgemeinen eine nebulöse Vorstellung herrscht.

Der Benutzer des Objektivs in der Kamera steht deshalb vor einer besonderen Situation. Durch die stürmische Entwicklung zu hoher Vollkommenheit, die die Photographie seit ihrer Erfindung im Jahre 1839 durchgemacht hat,

ist vielen Menschen der Umgang mit der Kamera etwas Alltägliches geworden,und das Fluidum des Geheimnisvollen, das den ersten Photographen mit ihrem Gerät anhaftete, ging verloren. Für den reinen Amateur wurde im Lauf der Zeit die Bedienung so narrensicher gemacht, daß er heute nur noch den Auslöser zu betätigen hat. Dem interessierten Photographen, der die gegebenen technischen Möglichkeiten so gut wie möglich nützen will, wurde zum Beispiel durch die Normierung der Formate, der Blendenzahl und der Filmempfindlichkeit ein überschaubares Rüstzeug geschaffen. Nur bezüglich der Wahl der günstigsten Objektive ist man auch heute noch, fast wie in den Anfangszeiten, von den Herstellern weitgehend im Dunkeln gelassen. Nur wenige Daten, wie Brennweite und Öffnungsverhältnis , sowie sporadische Angaben über den Verwendungszweck, wie z.B. Normal-, Tele-, Weitwinkel-, Portraitobjektiv, geben einige Anhaltspunkte. Was jedoch die Güte der Korrektion der Systeme betrifft, muß man sich ganz auf die Gewissenhaftigkeit des Herstellers, bzw. die Überzeugungskraft des Verkäufers verlassen. Eine endgültige Entscheidung über die Brauchbarkeit eines Systems ergibt sich heute wie in früheren Zeiten immer erst nachträglich aus seiner Bewährung in den verschiedenen an es gestellten Aufgaben.

Dieses Fehlen eines allgemein verständlichen Gütekriteriums, das einem subjektiven Urteil über die Bildgröße entspricht, hat bis heute zu verschiedenen Bemühungen geführt, auf andere Weise sich wenigstens in etwa ein Bild über die Leistungsfähigkeit eines Objektivs machen zu können. Als erster Versuch, die Formeln zur Durchrechnung eines Objektivs den Interessierten zur Verfügung zu stellen, muß wohl STEINHEILs "Handbuch der angewandten Optik" genannt werden (109). Bis zu diesem Zeitpunkt war die Berechnung stets mit großer Geheimhaltung verbunden gewesen.

Den nächsten Schritt unternahm M. v. ROHR (110) in seinem berühmten Buch "Theorie und Geschichte des fotografischen Objektivs", in dem er mit großer Gründlichkeit unter genauester Angabe von Quellen und Patenten einen Überblick über die historische Entwicklung des photographischen Objektivs bis zum Jahre 1899 gibt. Sein Verdienst war es, dem Leser zuerst die Grundkenntnisse über die Abbildung und die verschiedenen Fehler nahezubringen sowie die Strahlendurchrechnung anzugeben. Es sollte ihm dadurch das Verständnis der folgenden Abhandlungen über die verschiedenen Objektivtypen und deren Eigenheit bezüglich Fehler und Korrektur erleichtert werden. Deshalb ist dieses Buch bis in neueste Zeit das Vorbild für eine Reihe von Werken über das photographische Objektiv, die neben den nur für den Fachmann und Konstrukteur gedachten Veröffentlichungen dem Interessierten einen Überblick über den jeweiligen Stand der Entwicklung und damit über die ihm gegebenen Möglichkeiten bieten wollen (12, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 127).

Alle diese Werke setzen zu ihrem Verständnis eine gewisse mathematische Kenntnis voraus. Nach ihrem Studium kann man sich wohl orientieren, welchen Typ von Objektiv man in der Hand hat und welche grundsätzlichen Eigenschaften es besitzt. Nicht aber kann man sagen, wie gut es nun wirklich ist. Man müßte dazu eine Menge von Prüfverfahren und eventuell die Aberrationskurven als Ergebnisse der Berechnungen heranziehen. Und auch dann wäre ein Urteil nur einschränkend möglich. Selbst von Seiten der optischen Industrie wurde nie versucht, derartige Ergebnisse, z.B. Aberrationskurven eines Systems, für Werbezwecke zu verwenden, da zu deren Verständnis eine gewisse Vertrautheit mit den Methoden der Berechnung Voraussetzung ist.
Auch von den besprochenen Gütekriterien dürften die

wenigsten in ihrer jetzigen Form für den Verbraucher geeignet sein, einmal, da sie alle noch nicht den Anforderungen, die man an ein Qualitätskriterium im Sinne der subjektiven Bildgütebewertung stellen muß, voll erfüllen können, zum anderen, da sie zum Teil sehr unanschaulich sind.
Eine Kennzeichnung wäre jedoch sehr erwünscht. Da das Verhalten der MÜF den Vergleich von Objektiven anschaulicher gestaltet als z.B. die Aberrationskurven, sollte man auch sie zur Kennzeichnung der Abbildungsleistung für die Allgemeinheit zur Diskussion stellen. Zu einem solchen Vergleich ist wahrscheinlich eine detailierte Kenntnis, wie sie die vollständige MÜF von FRANKE (s. S. 7) liefert, nicht unbedingt nötig. Man kann je nach Vorhaben nur speziell geeignete Parameter variieren.

Um den Zusammenhang der Entwicklung im Objektivbau und dem Verhalten der axialen MÜF aufzufinden, wurde im Zuge dieser Arbeit mit der im Folgenden kurz beschriebenen Moiréapparatur (vergl. 44, 45 und auch 116, 117) ein repräsentativer Querschnitt der alten klassischen Objektive gemessen.
Über photographische Objektive und ihre Entwicklung finden sich in der Literatur recht einheitliche Aussagen.

In der Tat haben die nachstehend beschriebenen Meßergebnisse zwar nicht in allen Einzelheiten, aber doch im großen und ganzen einen Zusammenhang zwischen den Fortschritten im Objektivbau und der Verbesserung der axialen MÜF gezeigt.

Das bildete den Anlaß zur Prüfung, ob sich ein ähnliches Ordnungssystem auch für einige andere der erwähnten Beurteilungskriterien aufstellen läßt.

DIE MESSUNG DER MÜF NACH DEM MOIRE-VERFAHREN

Eine rasche Bestimmung der OÜF nach dem in der Einleitung beschriebenen Verfahren ist nur dann möglich, wenn man eine weitgehende Automatisierung des Meßvorgangs erreicht. Man wird deshalb versuchen, Testgitter sinusförmiger Intensitätsverteilung mit einer - am besten kontinuierlich - veränderlichen Periodenlänge herzustellen. Da dies in der Praxis für Sinusgitter nahezu unmöglich ist, behilft man sich mit Testgittern, die eine rechteckförmige oder dreieckförmige Intensitätsverteilung aufweisen (vergl. hierzu 26, 32, 39).
Aus den Messungen mit diesen Testgittern läßt sich die OÜF durch Verwendung geeigneter elektronischer Filter erhalten, die ein Abschneiden des testbedingten Oberwellengehalts von der Grundschwingung des Signals ermöglichen.
Die im Folgenden beschriebene Apparatur zur Messung der MÜF wurde im Zuge der Diplomarbeiten von H. DIEHL (optisch mechanischer Teil) und M. SCHWABE (elektrischer Teil) gebaut (44, 45, vergl. auch 116, 117).
Nach einem Vorschlag von LOHMANN (1, 2) wurde ein durch den Moiréeffekt entstandenes Testgitter verwendet, das eine dreiecksförmige Transparenzverteilung aufweist:

Legt man zwei Rechtecksgitter (gleiche Gitterkonstante d) übereinander und verdreht sie so, daß ihre Linien miteinander den Winkel 2φ bilden, so entsteht als Überlagerungsgitter das Moirégitter (s. Abb. 1, S. 23) mit der Periodenlänge

$$l = \frac{d}{2 \sin \varphi}$$

Der Drehwinkel φ ist so normiert, daß er bei Parallelstellung der Gitter Null wird. In dieser Stellung tritt auch kein Überlagerungsgitter auf, d.h. sie entspricht einer Ortsfrequenz von 0 Linienpaaren/mm.

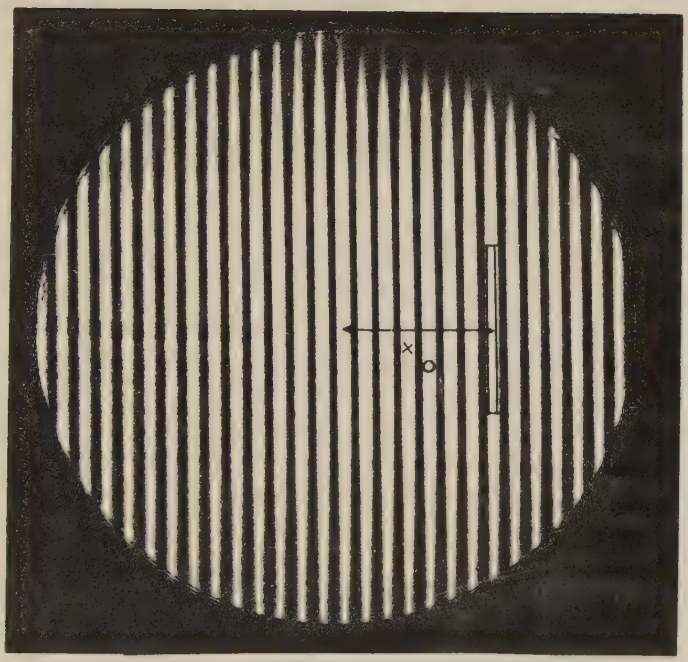


Abb. 1 Das Moirégitter

Die Verwendung des Moirétestes bringt gegenüber anderen Verfahren folgende Vorteile:

1. Man erhält ein Testgitter, dessen Ortsfrequenz sich mit dem Drehwinkel kontinuierlich verändert.

2. Man erhält ein Signal von nahezu konstanter elektrischer Frequenz. Wenn die Rechteckgitter gegeneinander rotieren, sieht man, daß die Moirélinien in die durch den gemeinsamen Drehpunkt gehende Symmetrielinie hineinlaufen oder aus ihr herausquellen. Bringt man jetzt (s. Abb. 1) einen Spalt parallel zur Symmetrielinie an,

der seitlich zu ihr um x_o versetzt ist, so laufen die Linien an diesem Spalt vorbei. In einem dahinter angebrachten SEV entsteht dadurch eine Wechselspannung, die der Intensitätsverteilung im Moirégitter entspricht. Ihre elektrische Frequenz f berechnet sich nach folgender Formel:

$$f = \frac{2x_o \cdot \dot{\varphi}}{d} \cdot \cos\varphi$$

wobei $\dot{\varphi} = \frac{d\varphi}{dt}$ die Winkelgeschwindigkeit der Rechteckgitter ist. Solange der Drehwinkel kleiner als 8^o bleibt, kann man innerhalb eines Fehlers von 1 % $\cos\varphi = 1$ setzen. In diesem Bereich darf dann nach obiger Formel die elektrische Frequenz als konstant betrachtet werden (x_o und φ wurden in der Anlage so ausgewählt, daß f = 2 kHz ergab).

3. Man erhält mit der dreieckförmigen Transparenzverteilung des Tests neben der Grundschwingung nur Oberwellen von ungeradzahliger Ordnung, deren Amplitude mit dem Quadrat der Ordnung abnimmt.

Aus 2. und 3. resultiert die Möglichkeit, mit verhältnismäßig geringem Aufwand von der Grundschwingung die Oberwellen elektronisch abzuschneiden und damit, wie im Anfang des Kapitels erwähnt, direkt die MÜF zu messen (s. S.32).

Die Nachteile des Moiréverfahrens sind:

1. Das Moirégitter läßt im Vergleich zu Rechteckgittern nur die halbe Lichtintensität durch (39).

2. Die beiden Drehachsen müssen exakt parallel zueinander justiert sein (s. S. 28), da sonst der Gitterkontrast ungleichmäßig wird. Außerdem müssen die Scheiben sehr genau

synchron gegeneinander laufen (116).

DIE MOIRE-APPARATUR

I. Mechanisch-optischer Aufbau

Die folgende Skizze gibt einen Überblick über die Anordnung der Meßapparatur. Alle ihre Einheiten sind auf einer 6 Meter langen optischen Bank (120) aufgebaut, die über die ganze Länge bis auf eine Restwelligkeit von 1 mm ausgerichtet ist.

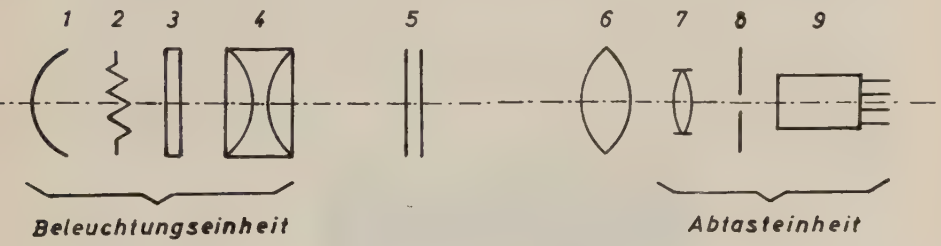


Abb. 2 Schematischer Versuchsaufbau

1. Reflektor
2. Lampenwedel
3. Mattscheibe
4. Doppelkondensor
5. Moiréscheiben
6. Prüfling
7. Mikroobjektiv
8. Spalt
9. SEV

Die Messung geschieht mit obiger Apparatur auf folgende Weise: Bei bewegtem und beleuchtetem 1-4 Moiré-Test 5 wandern die vom Prüfling 6 durch Aberrationen und Beugung in ihrem Kontrast geschwächten Moiréstreifen am Spalt 8 vorbei, wobei sie durch das Mikroobjekt 7 noch vergrößert werden. Vom SEV 9 werden sie als proportionale Photoströme registriert. Der Modulationsgrad liefert die Übertragungsfunktion für den Dreieckkontrast des Moirégitters.

A. DIE BELEUCHTUNGSEINHEIT

Beim Betrachten des Moirégitters - das maximal bis zu einer Frequenz von etwa 2 Linienpaaren/mm ausgenützt wird - übersieht man allzu leicht, daß dieses aus der Überlagerung der erheblich feineren Rechteckraster (ca. 7 Linienpaare/mm) entstanden ist. Bei der partiell kohärenten Beleuchtung ergeben sich daher auch bei kleinen Linienfrequenzen des Moiré-Testes Beugungsfiguren, die ihre Entstehung an dem feinen Kreuzgitter der Rasterscheiben erkennen lassen und für die Messung störend sind. Ein hoher Grad von Inkohärenz der Beleuchtung ist auch besonders wichtig,um sicherzustellen, daß die gemessene MÜF auch der entspricht, die das Objektiv bei normalen Tageslichtaufnahmen haben würde (118, 119).

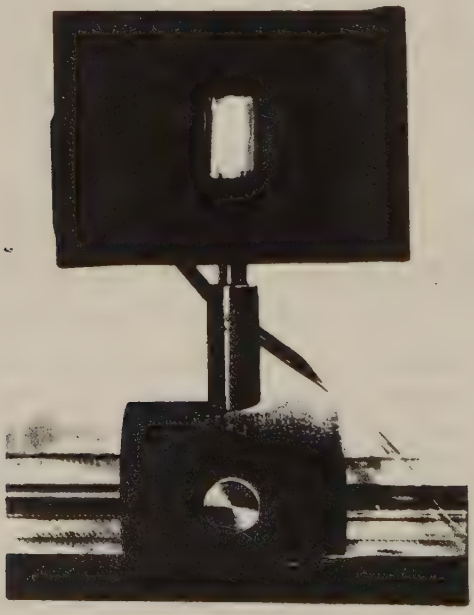


Abb. 3 Die Halogen-Quarzlampe

Es erwies sich deshalb als notwendig, einen möglichst großflächigen inkohärenten Strahler zur Beleuchtung der Moiréscheiben herzustellen.

Eine HALOGEN-Quarzlampe der Firma Radium (R.J. 6620; 6, 6 A; 200 W; 4400 Lumen) wird von einem Quarzzylinder umgeben. Seine eine Hälfte ist mit einem hochglanzpolierten Aluminiumblech als Reflektor belegt, die andere ist mattiert. Die so entstandene Lampe zeigt Abb. 3, S. 26. Die mattierte Vorderseite des Quarzrohrs ist auf der Aufnahme nicht so sichtbar, da während der Belichtung dieses zeitweise entfernt war, um die von ihm verdeckte Lampe erkennbar zu machen.

Durch die beschriebene Anordnung von Lampe und Quarzzylinder entsteht eine weitgehend gleichmäßig und inkohärent strahlende Fläche von 18 x 25 mm mit hoher Leuchtdichte (ca. 4 x 10^5 asb), die über einen Doppelkondensor diffus den Moiré-Test beleuchtet.

Die Spektralverteilung der Lampe ist aus der folgenden Abbildung 4 ersichtlich.

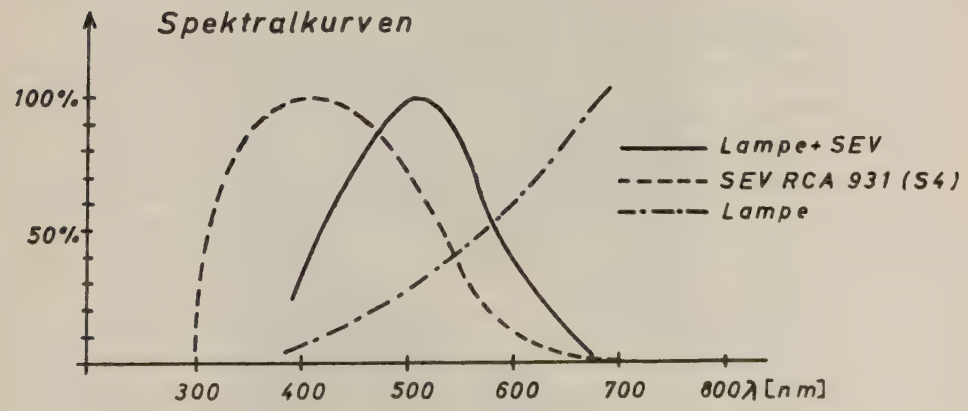


Abb. 4 Spektralkurven

B. DIE MOIRE-EINHEIT

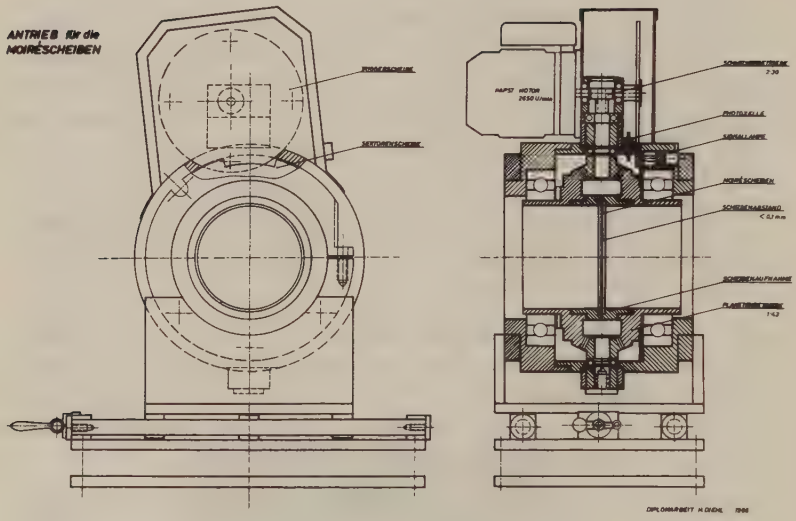


Abb. 5 Die Moiré-Einheit

Bereits aus den früheren Arbeiten (116, 117) hatten sich folgende Forderungen für den Aufbau der Moiré-Einheit ergeben:

Die beiden Rechteckgitter des Testes müssen äußerst genau zueinander bewegt werden. Ihre gegenseitigen Abstände müssen so gering wie möglich sein, um einen guten Kontrast des Moirégitters zu erhalten.

Die Moiré-Einheit ist folgendermaßen konzipiert:

Zwei Glasscheiben mit Rechteckgittern von 7,127 Linienpaaren/mm, wie sie in der Drucktechnik üblich sind und auch schon bei SAPPER (117) verwendet wurden - im Folgen-

den als Moiréscheiben bezeichnet - sind in Präzisionskugellagern so eingebaut, daß sie in einem maximalen Abstand von weniger als 0,1 mm stehen. Über ein spielfreies Planetengetriebe können sie um einen gemeinsamen Drehpunkt gegenläufig angetrieben werden (s. Abb. 5). Einzelheiten sind aus der Konstruktionszeichnung zu entnehmen. Die dort ebenfalls dargestellte Triggereinrichtung (bestehend aus Sektorenscheibe, Signallampen, Photozelle und Triggerscheibe) erlaubt eine Eichung der Ortsfrequenzachse nach dem Drehwinkel. Die geforderte Genauigkeit war mit dieser Anordnung erreicht.

C. DIE HALTERUNG DER PRÜFLINGE

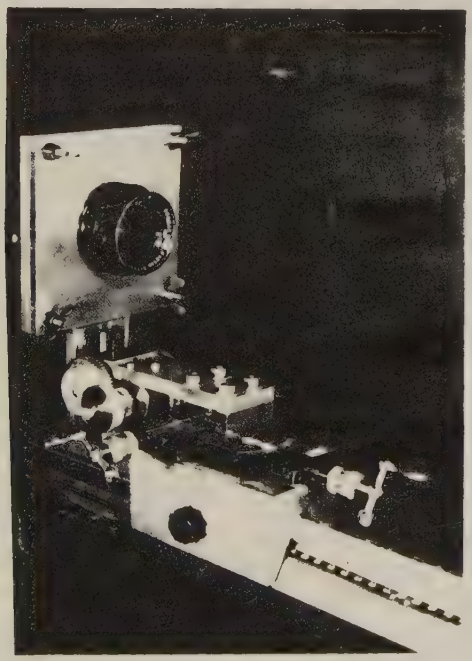


Abb. 6 Die Halterung der Prüflinge

Die zu untersuchenden Objektive müssen genau zur optischen Achse des Systems zentriert werden, damit man eine fehlerfreie Messung erhält. Da dies für die verschiedensten Objektivtypen der Fall sein muß, wurde eine justierbare Halterung gebaut, die bei guter Stabilität ein rasches Auswechseln der Prüflinge erlaubt (s. Abb. 6). Für jeden Durchmesser und jedes Gewinde der Prüflinge ist jedoch eine passende Standarte nötig. Besonders bei den alten Objektiven mit noch ungenormten Größen mußte deshalb bei fast jedem einzelnen eine Sonderanfertigung von Platte oder Zwischenringen hergestellt werden (s.Abb.7).

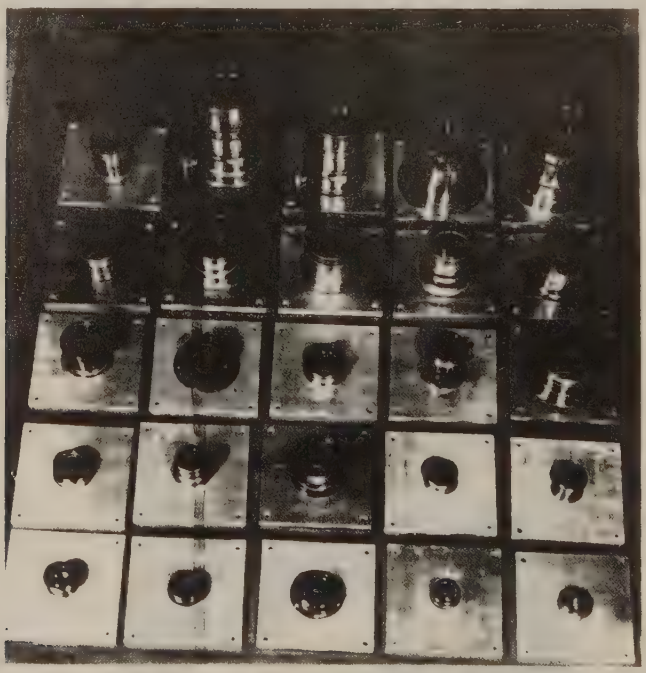


Abb. 7 Objektive auf Grundplatte

D. DIE EMPFÄNGEREINHEIT

Ein 40-fach vergrößerndes Mikroobjektiv (Zeiss-Winkel 40/0,65) bildet das vom Prüfling entworfene verkleinerte Bild des Moirétestes auf einen Spalt ab. Die Breite des Spalts ist in Verbindung mit dem verwendeten Mikroobjektiv derart festgelegt, daß die dadurch entstehenden Fehler in der MÜF vernachlässigt werden können. Bei einer Spaltbreite von 30 μ und einem verwendeten 40-fachen Mikroobjektiv erhält man aus der Beziehung $D(R)_{Spalt} = \text{sinc}\, \pi\, 2\delta\, R$ (mit 2δ = Spaltbreite) für die Übertragungsfunktion des Spaltes einen Abfall von

1 % bei 100 Lp/mm
2,3 % bei 150 Lp/mm
4 % bei 200 Lp/mm

Diese Werte sind gegen die sonstigen Meßunsicherheiten vernachlässigbar.
Mit diesem Spalt wird dann die dahinterstehende Photokathode eines SEV's gleichmäßig durch eine zusätzliche Mattscheibe ausgeleuchtet, um zu den übertragenen Lichtintensitäten proportionale Photoströme zu erhalten.

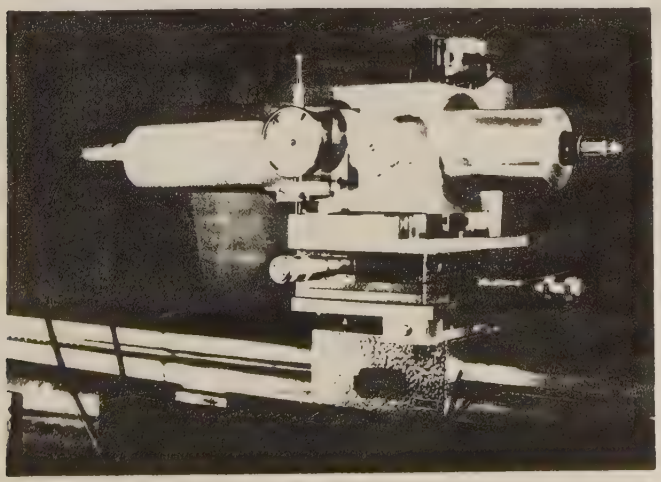


Abb. 8 Empfängereinheit

Die Empfängereinheit (s. Abb. 8, S. 31) erlaubt in allen Richtungen eine auf 1/100 mm genau reproduzierbare Einstellung. Die Grobjustierung der Einheit wird durch einen versenkbaren Sucherschacht erleichtert.
Alle Messungen dieser Arbeit wurden mit einer SEV Röhre RCA 931 A durchgeführt (entgegen der Abb. 8, wo eine 9529 B der Firma EMI, z.B. für monochromatische Messungen montiert ist).
Ihre Spektralempfindlichkeit ist auf Abb. 4, S. 27 zu ersehen, in der auch die wirksame Spektralverteilung für die Messungen mit "weißem" Licht angegeben ist.

II. DIE AUFBEREITUNG DES ELEKTRISCHEN SIGNALS

Dem Moiré-Test entsprechend liefert der SEV in der Abtasteinheit ein elektrisches Signal, das der Übertragungsfunktion für dreiecksförmige Intensitätsverteilung entspricht. Da die MÜF jedoch für Sinuskontrast definiert ist, wird auf elektronischem Weg der Oberwellenanteil des Signals abgetrennt, so daß man direkt die MÜF der Sinusverteilung erhält. Zu diesem Zweck wurde der in folgendem Blockschaltbild skizzierte Tiefpaßverstärker entwickelt (45).

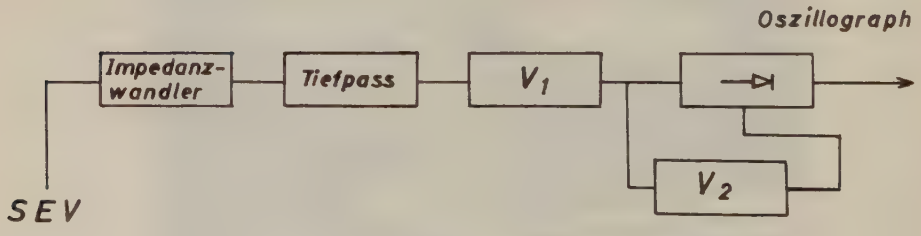


Abb. 9 Blockschaltbild

Das von SEV kommende Signal wird auf einen Impedanzwandler gegeben. Dieser transformiert den Arbeitswiderstand des SEV auf den Abschlußwiderstand des Tiefpaßfilters. Durch den folgenden Tiefpaß werden die Oberwellen des Signals abgetrennt, so daß am Eingang des ersten Rechenverstärkers V_1 das dem Sinuskontrast entsprechende Signal vorliegt. In diesem Verstärker V_1 wird das durch die Betriebsdämpfung des Filters gedämpfte Signal nachverstärkt und im Verstärker V_2 um exakt 180° phasenverschoben. Die beiden Ausgangssignale von V_1 und V_2 werden dann auf eine Gleichrichterstufe gegeben und an den Y-Eingang des Oszillographen gelegt. Damit erscheinen auf dem Bildschirm beide gleichgerichtete Hälften der MÜF. Neben der zusätzlichen Information durch die doppelte Anzahl von Meßpunkten liefert dies eine große Hilfe bei der Feinjustierung.

III. GESAMTÜBERSICHT DER MOIRE-APPARATUR

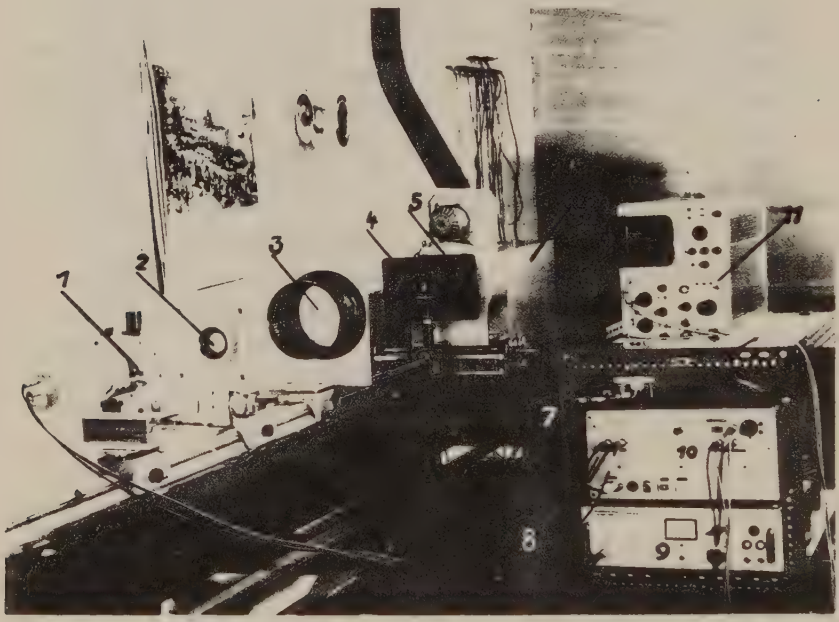


Abb. 10

Auf der Aufnahme ist die Apparatur bei einer Objektivmessung mit unendlichem Objektabstand dargestellt. Von links nach rechts sieht man auf der optischen Bank:

Die Empfängereinheit 1 (s. S.31), die Objektivhalterung mit einem Prüfling 2 (s. S.29), den Kollimator auf seiner justierbaren Halterung 3 und ein Mikroobjektiv, das den Moiré-Test verkleinern soll, in Halterung und mit Streustrahlungsblende 4, die Moiréeinheit 5 (s. S.28) und dahinter den lichtdichten Kasten 6, der die Beleuchtungseinrichtung enthält (s.S. 26). Unterhalb der

Beleuchtungseinrichtung ist ein Bedienungspult 7 für den Betrieb der Anlage und unter der optischen Bank die Spannungsversorgung 8 für die Beleuchtung erkennbar.

Rechts im Bild steht ein Wagen, der mit der Empfängereinheit entlang der optischen Bank bewegt werden kann. Er enthält von unten nach oben: die Spannungsversorgung für den SEV 9, den Tiefenpaßverstärker 10 (s.S. 32) und den Oszillographen 11. Der Oszillographenschirm zeigt die MÜF des gemessenen Prüflings und die Eichmarken für die Ortsfrequenzachse (s.S. 28).

Zur Auswertung der Messung wird dieses Oszillograhenbild mit einer Registrierkamera aufgenommen, der entwikkelte Film auf Millimeterpapier projiziert und dort aufgezeichnet (s. Abb. 11). Die Eichung der Frequenzachse erfolgt nach der Formel von S. 22 unter Berücksichtigung der Gesamtverkleinerung Vg. Diese wird über einen in der Ebene des Moiré-Tests angebrachten Glasmaßstab bei jeder Messung bestimmt.

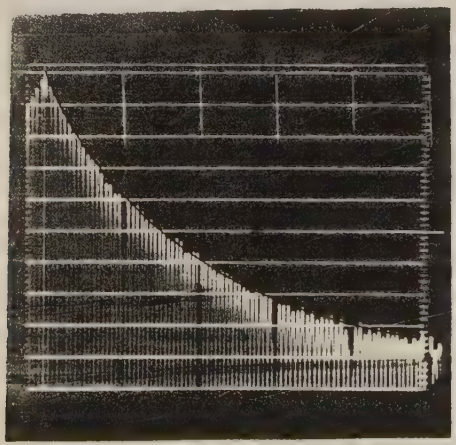


Abb. 11 Aufnahme des Oszillographenbildes

IV. GESAMTFEHLER UND REPRODUZIERBARKEIT DER MESSUNGEN MIT DER MOIRE-APPARATUR

1. Die zufälligen Gesamtfehler

Um alle die zufälligen Fehler, die durch das Rauschen des SEV's und der Elektronik sowie durch ungenaue Einstellung und Auswertung hervorgerufen werden, zu erfassen, wurden von demselben Objektiv mehrere Messungen durchgeführt. Dabei wurde der Prüfling jeweils neu einjustiert. Derartige 10-fach durchgeführte Wiederholungsmessungen haben gezeigt, daß bei nicht zu stark verrauschter MÜF sicher alle derartigen Fehler berücksichtigt sind, wenn man eine Unsicherheit der Meßwerte von 5 % des Maximalwertes annimmt. In weißem Licht und bei großen Öffnungen ist es jedoch dem Geübten durchaus möglich, eine erheblich kleinere Schwankung bei mehreren unabhängigen Messungen zu erzielen.
Bei sehr verrauschten MÜF muß man den Mittelwert aus einer Anzahl verschiedener Messungen bestimmen und die entsprechenden Schwankungen berechnen. Auf diese Weise läßt sich auch beträchtliches Rauschen relativ gut eliminieren. Die Unsicherheit der Meßwerte beträgt hier etwa 5 % des Maximalwertes.

2. Reproduzierbarkeit der Messungen

Innerhalb der oben angegebenen Grenzen sind die Messungen auf der Anlage gut reproduzierbar. Bei allen Wiederholungs- und Vergleichsmessungen muß jedoch folgendes besonders beachtet werden: streng reproduzierbar sind nur die Kurven, die jeweils optimal fokussiert sind. Das hat die beiden folgenden Gründe:

a) Die MÜF reagiert bei monochromatischen Messungen noch viel stärker als in weißem Licht auf die kleinsten Unter-

schiede der Einstellung. Es besteht daher besonders bei älteren , schon etwas angegriffenen Objektiven die Gefahr, daß man trotz fester Halterung und vorsichtigen Vorgehens beim Blendenverstellen die Lage und damit die Justierung des Systems ein wenig verändert, was zu einer anderen MÜF führt. Beim optimalen Fokussieren (s. S. 42) werden diese Veränderungen immer wieder ausgeglichen. Dieser erste Punkt kann bei modernen Objektiven guter Verarbeitung vernachlässigt werden.

b) Die Folgen der nachstehenden Beobachtungen können allerdings nicht vernachlässigt werden:
Mißt man ein Objektiv bei Konstanthaltung aller anderen Parameter bei seinen verschiedenen Blendenstellungen, jeweils optimal fokussiert, so findet man, daß die Einstellung der MÜF von den größten Öffnungen her kommend immer empfindlicher wird, bis bei der kritischen Blende ein Maximum erreicht ist. Bei noch kleineren Blenden nimmt die Empfindlichkeit der Einstellung dann schließlich wieder ab.
Die zusätzliche Unsicherheit für Einstellung und Auswertung, die durch das größere Rauschen der Elektronik bei den kleineren Intensitäten auftritt, ist hierbei noch nicht berücksichtigt. Eine Erklärung für diese unterschiedliche Empfindlichkeit liefert die Verwaschung des Brennpunktes, die - in einem Fall durch die größeren Öffnungsfehler, im anderen durch das Überwiegen der Beugungsfehler hervorgerufen - größer ist als bei der kritischen Blende. Eine kleine Änderung, besonders in der Achsenrichtung des Objektivs, ist daher bei einer im Vergleich zur kritischen sehr kleinen oder sehr großen Blende in der MÜF noch nicht gleich ersichtlich. Wenn man bei einer solchen Blendenstellung die MÜF mehrmals optimal bestimmt, so findet man hierfür übereinstimmende Kurven, obwohl die einzelnen Einstellungen in der

Empfängereinheit sich um kleine Werte unterscheiden. Mißt man jedoch in all diesen Fällen mit der gleichen Einstellung auch noch bei anderen Blenden, z.B. der kritischen Blende, so darf man eine gute Übereinstimmung nicht mehr erwarten. Die kleinen im ersten Fall noch unmerklichen Differenzen machen sich hier deutlich bemerkbar.
Alle Messungen der MÜF, die für eine Wiederholung oder für einen Vergleich gedacht sind, müssen daher jeweils für die gemessene Blende optimal fokussiert werden. Eine Einstellung auf eine andere als die gemessene Blende wird immer zu schlechter Übereinstimmung der Ergebnisse führen. Wenn es jedoch nötig ist, ein Objektiv mit Blendenvariation zu messen, ohne jeweils neu zu fokussieren, so wird man, wenn möglich, als empfindlichstes Einstellkriterium die kritische Blende heranziehen (vergl. dazu auch S. 44).

3. Vergleichsmessungen

Um eine Kontrolle über die Gesamtfehler der beschriebenen Moiré-Apparatur zu erhalten und ihre Leistungsfähigkeit zu prüfen, wurden an zwei Objektiven Vergleichsmessungen mit den Apparaturen der Firma RODENSTOCK in München (128) und der PTB in Braunschweig (32) durchgeführt. Sie lieferten innerhalb der angegebenen Grenzen praktisch die gleichen MÜF.

DIE MODULATIONSÜBERTRAGUNGSFUNKTION HISTORISCHER OBJEKTIVE

BEMERKUNGEN ZU DEN MESSUNGEN:

1. Alle Kurven geben über den Zustand der jeweils gemessenen Vertreter des Objektivtyps zum Zeitpunkt der Messungen Auskunft und sind deshalb nur bedingt als repräsentativ für den Typ oder das Fabrikat anzusehen. Soweit grobe ersichtliche Fehler vorhanden waren, oder sich solche im Verlauf der Messungen herausstellten, wurde das Objektiv aus dem Vergleich herausgenommen. Trotzdem hat sicher das eine oder das andere der aufgeführten Objektive im Laufe der Zeit etwas gelitten, wovon schon Schrammen und kleine trübe Flecke an den Kittstellen zeugen. Dies gilt besonders für die ganz alten Exemplare.

Der Einfluß von Schlieren, Blasen und Kratzern ist nach den Ergebnissen von ROSBERRY (120) nicht nach einer allgemeingültigen Regel zu bewerten. Dasselbe gilt auch für Rauhigkeiten in der Linsenoberfläche, die E. DIEDERICHS und A. LOHMANN untersucht haben (121). Man kann lediglich sagen, daß der Einfluß von Kratzern geringer ist als der von Blasen und ganz besonders von Schlieren.

Zu den Meßblättern:

2. Auf der Abszissenachse ist die Ortsfrequenz f (Linienpaare/mm) auf der Ordinatenachse der gemessene und auf 1 normierte Sinuskontrast D (f) aufgetragen.

3. Die Angaben über den Objektivtyp in den Meßblättern decken sich mit denen, die auf den Prüflingen eingraviert sind. Angaben aus anderen Quellen sind jeweils mit * versehen. Im neben den Blättern stehenden Text wird darauf jeweils hingewiesen.

4. Ist auf dem Objektiv selbst keine Angabe über die Brennweite gemacht, so wurde diese , wie folgt , bestimmt: die bei der Messung des Objektivs mit Kollimator erhaltene Verkleinerung V_g (s. S. 35) ist durch das Produkt aus der Verkleinerung des Mikroobjektivs und dem Verhältnis der Brennweiten von Kollimator und Prüfling gegeben.

$$V_g = V_{Mikro} \cdot \frac{f\ Kollimator}{f\ Prüfling}$$

Aus dieser Beziehung wurde die Brennweite des Prüflings berechnet. Nur bei den beiden Einlinsern wurde f direkt gemessen, da hier die Lage der Hauptpunkte eindeutig ist. (Einstellung mittels Autokollimationsfernrohr auf bildseitig teleszentrischem Strahlengang und Messung des Abstands Objekt - Linse mit einem Meßstab). Die so gemessenen Werte für die Brennweite sind in runden Klammern auf den Meßblättern angegeben. Da die Brennweite stets in Zentimetern oder Millimetern angegeben ist (z.B. f = 10 cm), kann eine Verwechslung mit der Ortsfrequenz f nicht erfolgen.

5. Bei einigen der ganz alten Objektive sowie der Hälfte von Doppelobjektiven sind das Öffnungsverhältnis oder die Blendenzahlen nicht angegeben. Bei anderen sind die jeweiligen Durchmesser der Blende angegeben oder nicht der gegenwärtigen Norm entsprechende Blendenzahlen (die nicht mit dem Verhältnis Brennweite/Durchmesser der Eintrittspupille übereinstimmen). Um jedoch zwischen den Objektiven vergleichen zu können, wurde in all diesen Fällen die Blendenzahl aus der Brennweite und dem Durchmesser der Eintrittspupille berechnet. Letzterer wurde folgendermaßen bestimmt: mit Hilfe eines Autokollimationsfernrohres wurde das Objektiv auf bildseitig telezentrischen Strahlengang justiert. Hierbei diente als Objekt ein von einem Mikroobjektiv

verkleinertes Bild des Moirétestes. Der Durchmesser des hinten am Objektiv austretenden Lichtbündels wurde gemessen. Dies geschah nahe an der letzten Linse, um den Fehler der Bündelverbreiterung durch die Beugung möglichst klein zu halten. Die so erhaltenen Werte für die Blendenzahlen sind in den Kurven unter runden Klammern angegeben. Ist nur eine Zahl ohne Klammer angegeben, so entspricht diese der am Objektiv angegebenen Blendenzahl und der heute gültigen Definition.

6. Die Abbildungen, die einen Schnitt durch die Objektive darstellen, sind nicht maßstäblich, sondern rein schematischer Natur. Aus den Zeichnungen können also keine Schlüsse auf die speziellen Konstruktionsdaten gezogen werden. Die Abbildungen sind aus den Büchern von GRITTNER (114), M. v. ROHR (110), FLÜGGE (111), BRANDT (113) entnommen.

7. Alle Messungen wurden axial und in weißem Licht durchgeführt, um die Zahl der Parameter und damit die Zahl der Kurvenwerte nicht zu groß werden zu lassen. Als Empfängereinheit wurde in allen Fällen die SEV-Röhre RCA 931A (s. S. 32) benützt. Die effektive Spektralverteilung ist aus Abb. 4, S. 27 zu ersehen.

8. Um die Parameterzahl klein zu halten, wurden alle Objektive auf unendlichen Objektabstand gemessen (Verwendung des Kollimators). Nur die Objektive, deren Brennweite gegenüber der Brennweite des Kollimators nicht mehr zu vernachlässigen war, mußten bei endlichem Abbildungsverhältnis gemessen werden. In den Meßblättern ist dies bei ihnen jeweils in eckigen Klammern angegeben.

Aus dem Kurvenblatt der Cooke-Lens (S. 127) ist zu ersehen, daß der Einfluß des Kollimators für Brennweiten bis 20 cm das Meßergebnis nicht verfälschte. Die

kleinen + bedeuten dort die Meßpunkte mit Kollimator.

9. Als bisher noch nicht festgelegte Parameter bleiben die Fokussierung und die Blendenzahl übrig. Anhand der folgenden Kurven für das Protar soll gezeigt werden, daß auch hier mit einer bestimmten Auswahl die jeweiligen Eigenschaften ausreichend gut charakterisiert werden können.
Da bei neueren Objektiven (einäugige Spiegelreflexkamera) die Scharfeinstellung der Kamera bei völlig geöffneter Blende vorgenommen wird, wurde dieses Kriterium am Anfang auch für die Messung der MÜF übernommen. Es wurde bei der größten Öffnung (Blende 8) optimal fokussiert und dann die Blendeneinstellung variiert (s. S. 45). Die optimale Fokussierung erfolgte im Sinne einer möglichst großen "relativen Gipfelhöhe", d.h. es wurde versucht, die Fläche unter der MÜF bis zu einem Kontrast von etwa 0,2 möglichst groß zu halten (siehe dazu auch 58 und die folgenden Arbeiten 34, 50, 122 - 125).

Nach den Ergebnissen von S. 45 scheint beim gemessenen Protar Blende 8 die kritische Blende zu sein, weiteres Abblenden über diese Öffnung führt zu schlechterer Bildwiedergabe.
Fokussiert man jedoch bei den nächsten Blenden optimal, z.B. bei Blende 12 (s. S. 46), so stimmen alle Kurven für die verschiedenen Blenden nicht mehr mit denen überein, die bei Blende 8 mit optimaler Fokussierung gemessen wurden. Der Kontrast ist hier bei den kleineren Blenden stark angestiegen. Bei den beiden größten Öffnungen, bei Blende 8 und Blende 9, hat er dagegen bei allen Linienfrequenzen stark abgenommen.

Wenn man schließlich noch die kleinste (aus Intensitätsgründen in der Apparatur meßbare) Blende, hier also

Blende 18 optimal fokussiert (s.S. 47), so sieht man, daß alle größeren Blenden bei dieser Fokussierung zu kleinerem Kontrast führen; genau umgekehrt wie im ersten Fall.

Aus diesen Ergebnissen folgt also, daß die optimale Fokussierung für jede Blendenstellung anders ist. Das Objektiv weist eine sogenannte "Blendendifferenz" auf, d.h. eine Änderung der Brennpunktslage mit der Blendenzahl, auf die besonders bei den ersten lichtstarken Anastigmaten, wozu auch das Protar gehört, in der Literatur hingewiesen wird (u.a. bei FRANKE, 12, S. 78 und bei BRANDT, 113, S. 35). Die Blendendifferenz ist in erster Linie auf die Zonenfehler der sphärischen Aberration zurückzuführen. Als Bestätigung kann man die beiden nächsten Abbildungen (S. 48 und S. 49) werten, aus denen der Abstand der Brennpunkte von Blende 8 und 18 zu 0,5 bis 0,6 mm zu ersehen ist. Die kleinen + geben dabei die Lage der optimal fokussierten Blende an.

Man kann annehmen, daß die Blendendifferenz den damaligen Benutzern der Objektive bekannt war und daß sie durch die Scharfeinstellung auf der Mattscheibe der verwendeten Kameras durchaus in der Lage waren, die Leistung auszunützen, die das Objektiv bei optimaler Fokussierung für jede Blende bot. (Dies gilt jedoch nicht für die Kleinbildobjektive.)
Um die Güte der alten Objektive also gerecht zu beurteilen, muß auf jeden Fall die Schar der Übertragungsfunktionen herangezogen werden, in der die einzelnen Blendeneinstellungen die jeweils optimale Fokussierung besitzen. Die Messung dieser Kurven (jede optimal fokussiert) ist auch insofern besonders günstig, als sie eine größtmögliche Reproduzierbarkeit garantiert (s. S. 36 Fehler und Reproduzierbarkeit).
Ob das Objektiv Zonenfehler aufweist, ist aus dieser Darstellung nicht mehr ersichtlich. Die Korrektur dieser

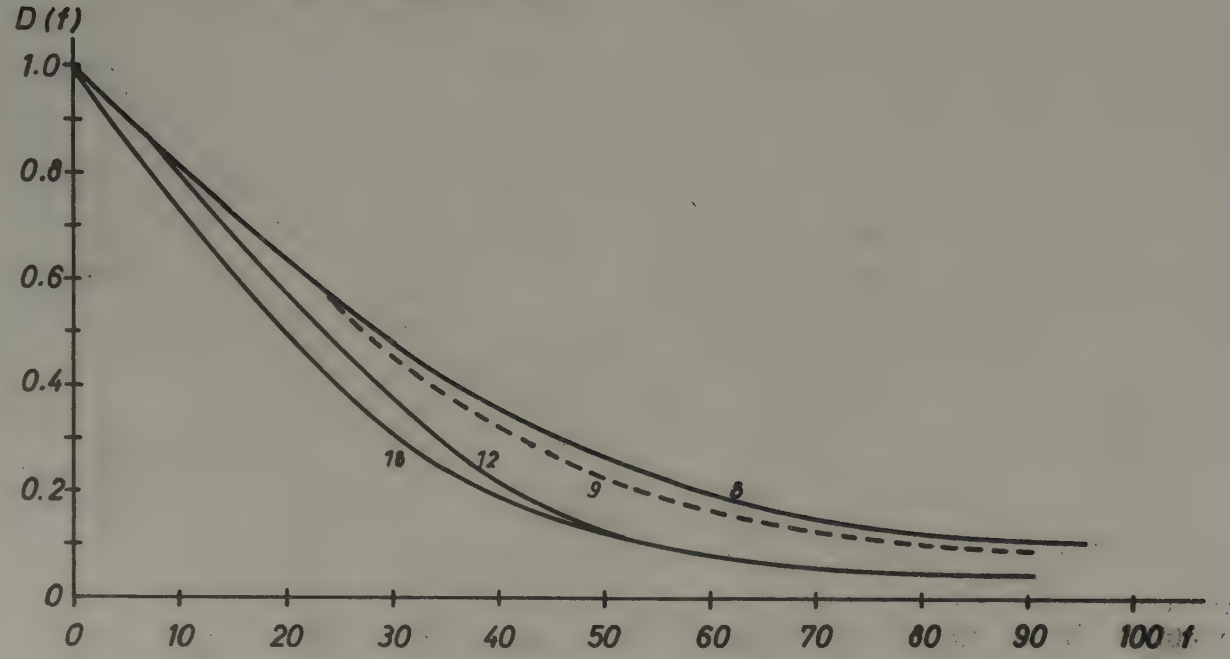
Fehler höherer Ordnung ist allerdings für seine Qualität ebenfalls wichtig. Es hieße, die Erfolge, die auf diesem Gebiet in neuerer Zeit errungen wurden, außer acht lassen, wenn man nur die Kurven der optimal fokussierten Blenden brächte. Es werden deshalb außer diesen noch weitere Kurven gebracht, aus denen die Zonenfehler ersichtlich sind.

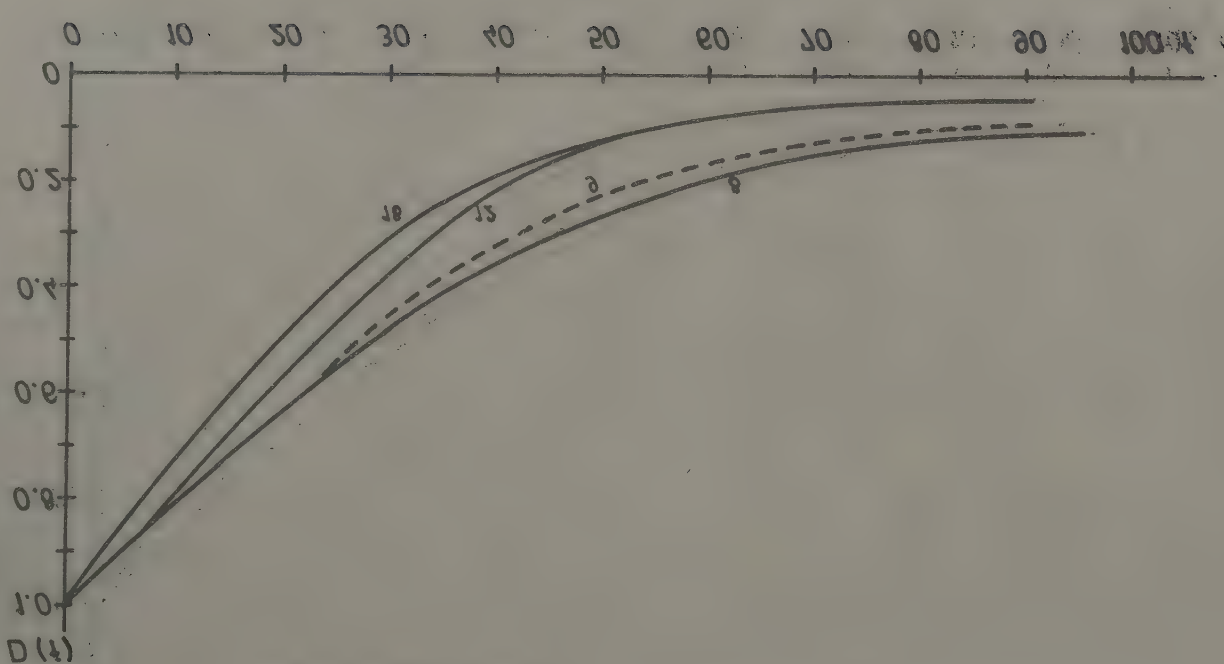
Um die Übersichtlichkeit der Arbeit nicht zu beeinträchtigen, wird darauf verzichtet, die Gesamtheit der Kurvenscharen für die einzelnen Blenden bei jedem Objektiv zu bringen, wie es auf S. 45 - 49 bei dem Protar erfolgt ist. Es soll deshalb nur eine einzige herausgegriffen werden, die im Vergleich mit den Kurven der optimalen Fokussierung eine Abschätzung des Zonenfehlers ermöglicht. Nach den Ausführungen auf S. 35 ist hierfür diejenige am besten geeignet, bei der die kritische Blende optimal fokussiert worden ist.

In dem Kapitel, das die Meßergebnisse der historischen Objektive beschreibt, ist diese Kurvenschar jeweils transparent über den MÜF für die optimale Fokussierung aller Blenden angegeben, so daß ein direkter Vergleich möglich ist. Nur in einzelnen Fällen sind noch andere Kurven aufgeführt, die eben dort erläutert werden.

Carl Zeiss, Jena Nr. 56397 Protar 1:8 f=136mm

Bl. 8 opt. fok.



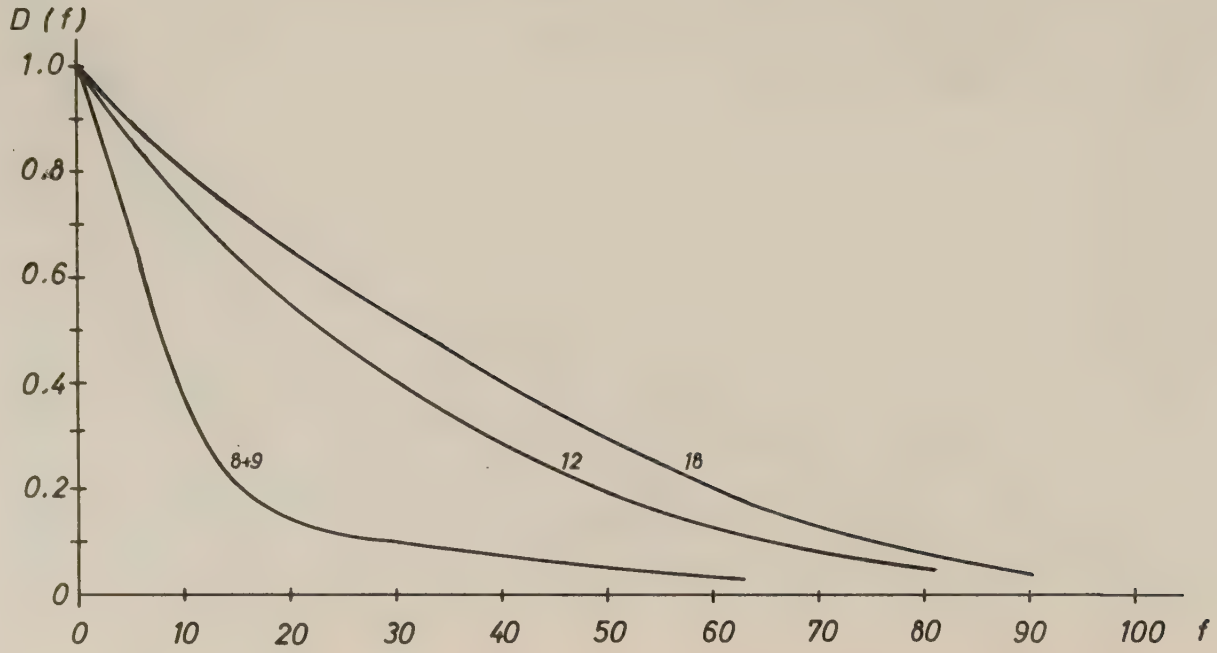


Bl.8 opt. fok.

Carl Zeiss, Jena Nr.56337 Protar 1:8 f=136mm

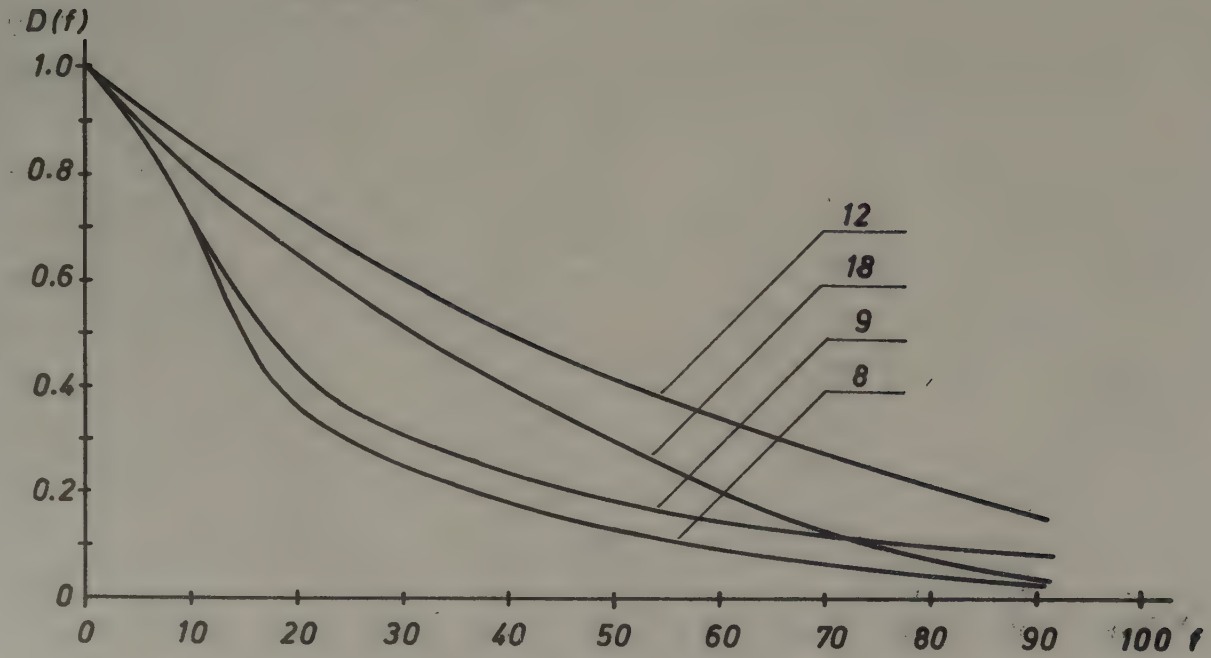
Carl Zeiss, Jena Nr. 56397 Protar 1:8 f = 136 mm

Bl. 18 opt. fok.



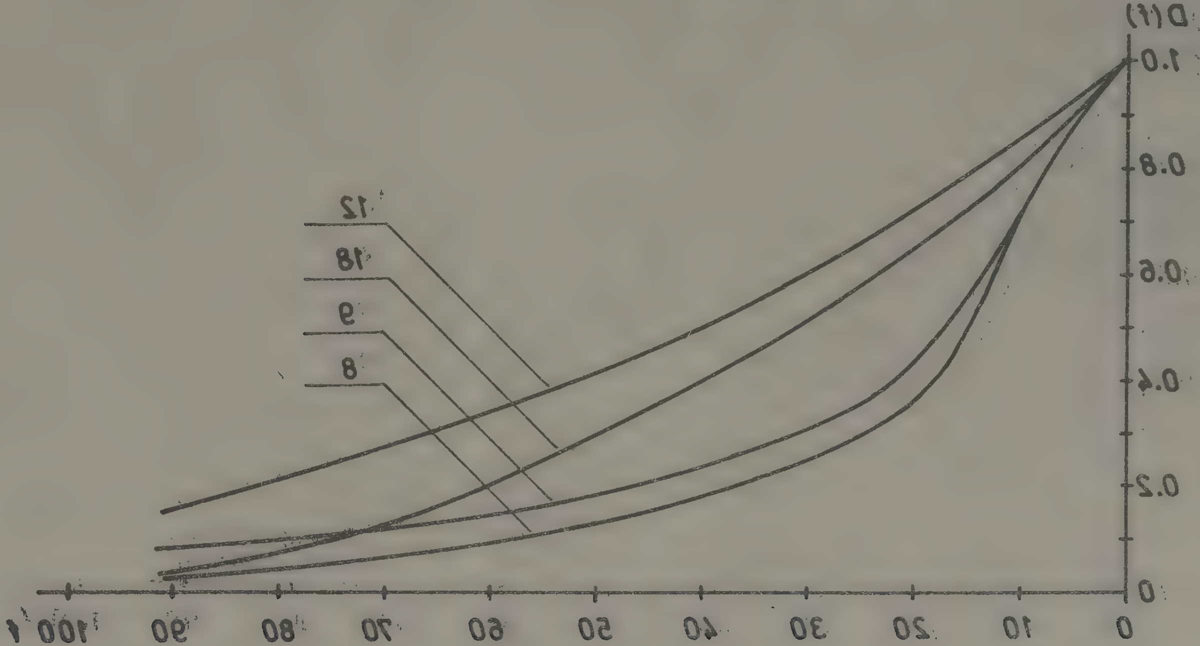
Carl Zeiss, Jena Nr. 56397 Protar 1:8 f = 136 mm

Bl. 12 opt. fok.



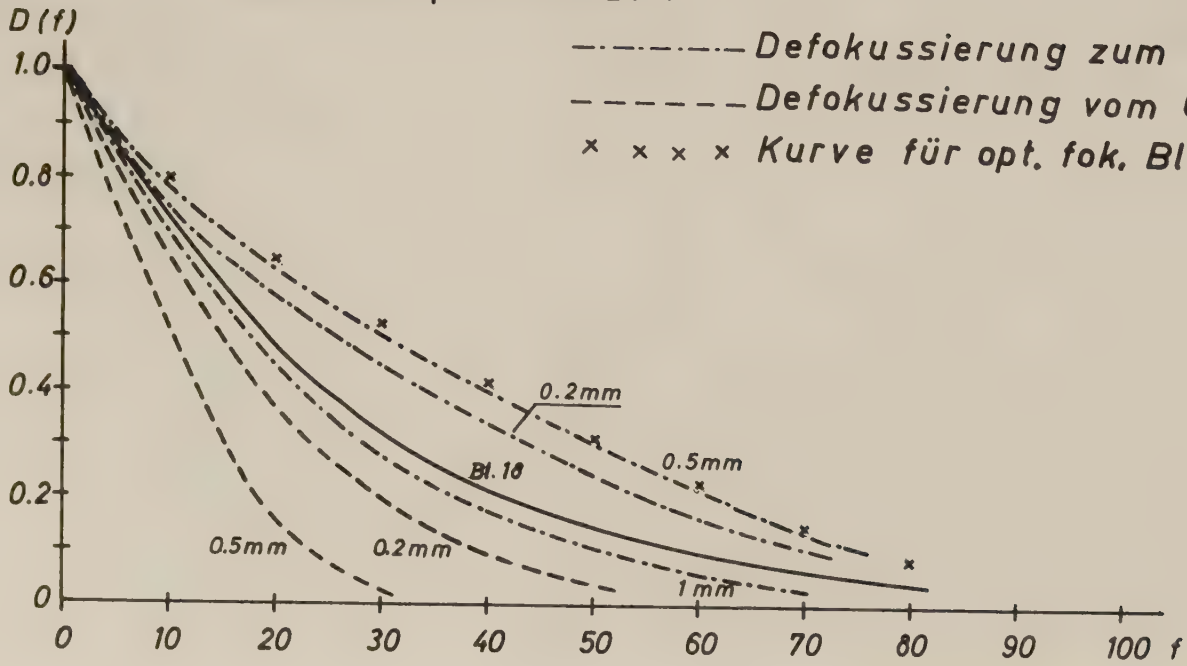
Carl Zeiss, Jena Nr. 56397 Protar 1:8 f = 136 mm

Bl. 12 opt. fok.



Carl Zeiss, Jena Nr. 56397 Protar 1:8 f = 136 mm

Bl. 18 für opt. fok. Bl. 8



10. In dem nun folgenden Teil I "Die historische Entwicklung der Objektive" werden die einzelnen Prüflinge grundsätzlich in der Reihenfolge gebracht, die ihrer historischen Entwicklung entspricht. Die Anordnung kann aber dann nicht rein chronologisch bleiben, wenn Zusammenhänge von Vertretern einer Gattung erfaßt werden sollen.

Den nun folgenden Meßkurven wird jeweils eine Zusammenfassung gegenübergestellt, die über die Geschichte des entsprechenden Typs, seine speziellen Vorzüge und Fehler, sowie, wenn vorhanden, genauere Kennzeichen, wie zum Beispiel das Baujahr, Auskunft gibt. Die Daten hierzu stammen von M. v. ROHR (110), HARTING (112), FLÜGGE (111), FRANKE (12), BRANDT (113), GRITTNER (114), SCHOBER (115), EDER (127) oder von direkten Auskünften der Herstellerfirmen. Sie soll zugleich als Leitfaden durch die nicht immer geradlinige Entwicklung dienen, die die Herstellung der Objektive genommen hat. Im nächsten Teil II wird dann der Versuch durchgeführt, die einzelnen Objektivtypen anhand ihrer MUF direkt und, soweit möglich, unter gleichen Bedingungen - gleiche Blende und reduziert auf gleiche Brennweite - zu vergleichen.

I. DIE HISTORISCHE ENTWICKLUNG DER PHOTOOBJEKTIVE

DAS SIMPLET

Ausgegangen waren die Entdecker der Photographie von dem Wunsch, das in der Camera obscura entstehende Bild zu fixieren. Sie hatten bereits ein verbessertes optisches Instrument zur Verfügung, den Meniskus von H.W. WOLLASTON.

Der Arzt und Physiker William Hyde WOLLASTON (1766 - 1828) hatte schon im Jahre 1812 erkannt, daß der Meniskus, dessen günstige Eignung als Brillenform für Weitsichtige er bereits 1804 nachgewiesen hatte, mit umgekehrtem Strahlengang ein gutes Objektiv für Landschaftsaufnahmen in der Camera obscura ergab (größeres Bildfeld, annähernd gleichmäßige Zeichenschärfe im ganzen Bildfeld).

Da man bei Verwendung einer einzigen Linse nur Brechzahl, Krümmungsradius, Linsendicke sowie den Blendenabstand als Konstruktionselemente zur Verfügung hat, ist von vornherein klar, daß ein solches System mit großen Fehlern behaftet sein muß. So ist es zum Beispiel gar nicht möglich, eine einfache Sammellinse sphärisch voll zu korrigieren. Die Linse geringster Aberration, eine Bikonvexlinse mit ungleichen Radien, wie sie zum Beispiel für Scheinwerfer, Kondensoren, Brenngläser verwendet wird, liefert zwar eine optimale Bildschärfe auf der Achse, Bildfeldwölbung und Astigmatismus sind jedoch bei dieser Konstruktion am größten. Aus der Erkenntnis dieser Zusammenhänge war der Meniskus entstanden. Durch seine Einführung als Objektiv mit Vorderblende werden Astigmatismus und Bildfeldwölbung etwas korrigiert, allerdings auf Kosten der sphärischen Korrektur auf der Achse und damit der Mittelschärfe des Bildes. Die Folge ist, daß man nur durch starkes Abblenden in der Mitte eine ausreichende

Bildschärfe erreichen kann. Dies ist auch aus der MÜF (s. S. 53) ersichtlich. Die Verzeichnung dieses Objektivs ist wegen seiner Vorderblende tonnenförmig und beträgt 5 % für einen Bildfeldwinkel von 12,5°, die Koma des Systems ist erträglich. Da die Farbfehler sich jedoch durch die Linsenform selbst nur wenig beeinflussen lassen, zeigen alle diese Objektive einen großen Farblängsfehler. Nur äußerst schwach farbzerstreute Gläser können hier etwas abhelfen. Ein weiterer Fehler dieser optischen Systeme, der bei den früheren Aufnahmen berücksichtigt werden mußte, war der sogenannte chemische Fokus: bei den früher gebräuchlichen, nicht farbempfindlichen Platten übte nur der brechbare Teil der Farben von hellblau ab eine Wirkung aus, während rot, gelb, grün keine Schwärzung hervorrief. Mit dem Auge stellte man aber das Bild auf der Mattscheibe etwa auf grün scharf ein. Der Punkt der Scharfeinstellung für das sichtbare und der für das wirksame Licht liegen also bei diesen alten Objektiven nicht beisammen. Diese Abweichung, die grob gerechnet 2 % der Brennweite betrug, nennt man den chemischen Fokus des Objektivs. Um diesen Betrag muß man bei der Aufnahme näher an das Objektiv herangehen, um eine scharfe Abbildung zu erhalten.

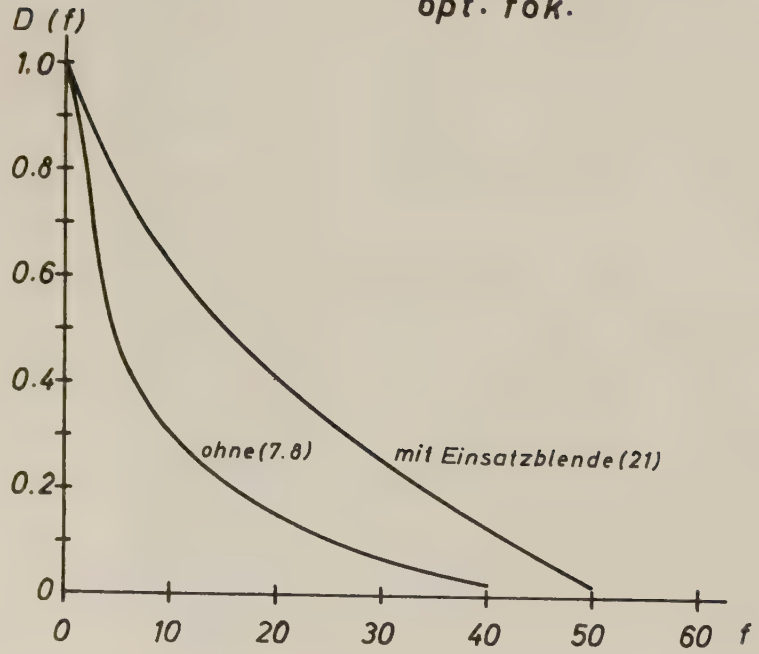
Die zahlenmäßig sehr große Verbreitung dieses Objektivs ist heute auf billigste Kameras vom Box-Typ beschränkt.

✱ Zu S. 53

Auf dem Begleitschreiben des Deutschen Museums für die Objektive ist für dieses Exemplar angegeben: Einlinsiges Landschaftsobjektiv, Meniskus von H.W. Wollaston. Auf dem Objektiv selbst sind keine Angaben gemacht. Von den Einsatzblenden, die dem Objektiv beilagen, konnte aus Intensitätsgründen nur die größte gemessen werden.

Meniskus von W. H. Wollaston * (f = 31 cm)

opt. fok. [Abb. Verh. 8.3:1]



LANDSCHAFTSLINSE NACH CHEVALIER (ACHROMATE)

Von den Fehlern der Einzellinse war der Farbfehler am störendsten. Es wurde deshalb schon bald der einfache Meniskus durch eine nach dem Verfahren von V. u. Ch. CHEVALIER achromatisierte Einzellinse ersetzt. Man weiß, daß schon bei den ersten Daguerreschen Apparaten dieses Objektiv verwendet wurde. Da diese sogenannten Achromate ein wesentliches Konstruktionselement der späteren Objektivtypen sind, soll etwas näher auf sie eingegangen werden. Um bei gleichbleibender Gesamtbrechkraft Φ einer Linse den Unterschied der Brechkraft zwischen den Linien C und F des Spektrums Φ/ν aufzuheben, teilt man sie in 2 Linsen auf, deren Brechkräfte sich addieren $\varphi_1 + \varphi_2 = \Phi$. Auch Φ/ν setzt sich jetzt aus den beiden Gliedern zusammen $\varphi_1/\nu_1 + \varphi_2/\nu_2 = \Phi/\nu$. Damit das System jetzt achromatisch wird, muß $\varphi_1/\nu_1 + \varphi_2/\nu_2 = 0$ werden. Da die ν Werte alle positiv sind, erreicht man das durch Kombination einer Sammel- mit einer Zerstreuungslinse. Man könnte bei diesem Verfahren zum Beispiel erreichen, daß sich die monochromatischen Abweichungen des Wollaston-Meniskus nicht ändern, wenn man die äußere Form beibehält und die Linse aus zwei geeigneten Gläsern gleichbleibender Brechzahl n_e, aber unterschiedlicher Dispersion herstellt. Die Vermehrung der brechenden Flächen veranlaßt natürlich den Konstrukteur sofort zum Versuch, durch die Wahl von verschiedenen Brechzahlen außer der Farbabweichung einen monochromatischen Fehler erfolgreich zu verbessern.
Um mit der entstehenden Kittfläche den Öffnungsfehler zu verringern, muß diese zerstreuend wirken. (Die Strahlenrichtung ist hierbei immer von der Blende aus zu der Linse hin betrachtet.) Dies läßt sich folgendermaßen erklären: da die Brechzahlunterschiede an der Kittfläche wesentlich kleiner sind als an einer Glasluftfläche, muß

man den Krümmungsradius erheblich kleiner machen, um eine merklich optische Wirkung zu erhalten. Die Strahlen haben dadurch wesentlich größere Einfallswinkel als an den an Luft grenzenden Linsenflächen. Man erzielt damit einen größeren Öffnungsfehler, der den der sammelnden Flächen vermindern soll. Die Kittfläche muß daher eine zerstreuende Wirkung haben. Auf diesem Korrektionsprinzip der Altachromaten beruht auch die französische Landschaftslinse von CHEVALIER (s. Abb. S. 57). Die sphärische Aberration ist bei diesem System nicht auskorrigiert und erreicht noch erhebliche Werte. Außerdem ist durch die Verwendung der Kittfläche der Astigmatismus stärker geworden,als er bei der WOLLASTON'SCHEN Linse war. Auch die Bildfeldwölbung ist noch sehr stark. Sie fällt um so mehr auf, als die Sphäre jetzt besser korrigiert ist. Dieser Fehler ist aber im Gegensatz zur Sphäre nicht durch stärkeres Abblenden zu beseitigen, da der dafür verantwortliche Betrag der Petzval-Summe bereits durch die Konstruktion festgelegt ist. Um die Petzval-Summe herabzusetzen, das heißt , um zu erreichen, daß $\varphi_1/n_1 + \varphi_2/n_2 < \Phi/n$ wird , und um dabei gleichzeitig die Achromasiebedingungen zu erfüllen, das heißt, daß $\varphi_1/\nu_1 + \varphi_2/\nu_2 = 0$ wird, muß man Gläser haben, bei denen $n_1/n_2 < \nu_1/\nu_2$ ist; es muß bei ihnen also ein kleinerer ν Wert auch einem kleineren n-Wert entsprechen. Die durch ABBE angeregte Entwicklung solcher neuer Gläser durch SCHOTT ließ die Herstellung dieser Neuachromate gelingen. Ihre Kittfläche wirkt im Gegensatz zu den Altachromaten sammelnd, was aber nach dem oben Gesagten wiederum den Öffnungsfehler vergrößert. Man hat also bei zwei verkitteten Linsen die Wahl zwischen der Möglichkeit, entweder die Bildmitte oder den Bildrand zu korrigieren (Alt- oder Neuachromate). Auch bei der späteren Verwendung der Achromate als Konstruktionselemente für komplizierte Systeme bleiben diese beiden

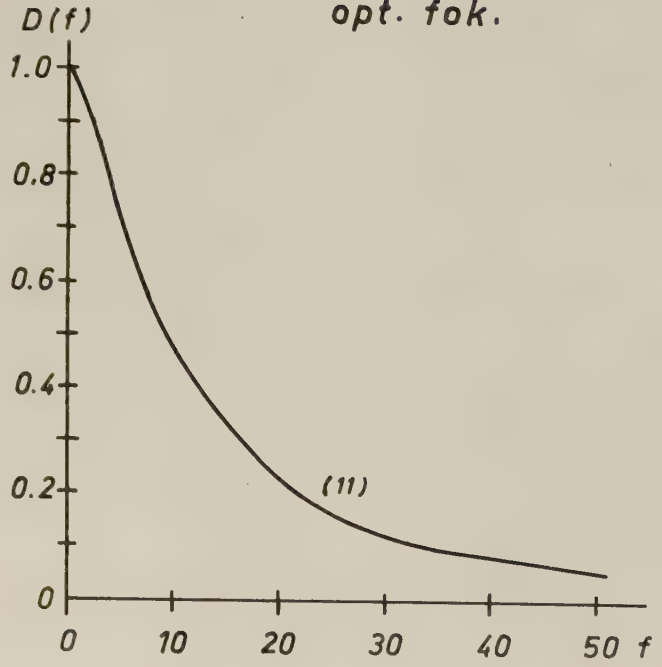
Korrektionsmöglichkeiten erhalten. Man sieht, daß eine befriedigende Korrektion nach dem oben Gesagten also auch mit einer verkitteten Einzellinse noch nicht möglich ist. Sie findet daher heute nur noch in sehr billigen Kameras als spezieller Weichzeichner oder als Fernbildlinse für kleine Bildwinkel Verwendung.

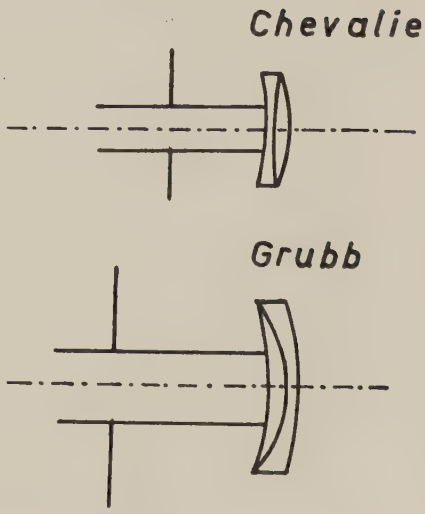
* Zu S. 57: Die Verkittung der Linse weist diesen vom Deutschen Museum als "Objektiv mit Messingblende" bezeichneten Prüfling als Achromaten aus. Die Daten, die M. v. ROHR (110 auf S. 94) für das von Daguerre selbst verwendete Landschaftsobjektiv angegeben hat, entsprechen in etwa denen des Prüflings. Die Tatsache aber, daß der Blendentubus konisch in einem Rohr sitzt und sich als Ganzes verschieben läßt, spricht jedoch dafür, daß es sich um eine "Aplanatic-Lens" handeln dürfte. Diese ist ein Landschaftsobjektiv, das 1858 von Thomas GRUBB herausgegeben wurde und von dem dieser variierbare Blendenabstand auch berichtet wird (110 auf S. 166). Er war so eingerichtet, um wenn möglich den Bildwinkel steigern zu können. Auch sonst unterscheidet sich diese Konstruktion von der französischen Landschaftslinse. Um deren hohe sphärische Unterkorrektion zu beheben, wurde hier die Reihenfolge der Gläser vertauscht, so daß das Objektiv aus einem sammelnden Kron- (kleines n und großes ν) und einem zerstreuenden Flintmeniskus (großes n und kleines ν) besteht. Die zerstreuende Kittfläche bleibt jedoch auch bei der Grubb-Linse (s.Abb. auf S. 57) erhalten. Einsatzblenden zu dem Objektiv waren nicht vorhanden, so daß die MÜF nur bei völliger Öffnung gemessen werden konnte.

Vergleicht man grob das Aussehen der Übertragungsfunktionen der beiden bisher besprochenen einfachsten Systeme, so ist keine wesentliche Änderung zu erkennen. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, daß die Kurven wegen der unterschiedlichen Brennweiten und Blendenzahlen nur sehr grob miteinander verglichen werden können (s. auch S. 193, Vergleich der alten Normalobjektive).

Landschaftslinse * (f = 37.5 cm)

[Abb. Verh. 7.5:1]





DAS PERISKOP VON STEINHEIL

Wie bei den beiden ersten Beispielen gezeigt wurde, ist mit den dort gegebenen Möglichkeiten eine befriedigende Korrektur der Bildfehler nicht möglich. Ein einfacher Kunstgriff, einige der Fehler von vornherein auszuschalten, besteht darin, daß man zwei gleiche Linsen symmetrisch zur Blende zu einem Objektiv vereinigt. Für einen Abbildungsmaßstab von 1 verlaufen die Strahlen zwischen den Linsen parallel. Auch die Hauptstrahlen verlaufen symmetrisch. Betrachtet man jetzt von der Mitte ausgehend die beiden Hälften getrennt, so findet man für beide die gleichen Fehler. Beim Zusammensetzen heben sich dann diejenigen Fehler auf, bei denen in der Seidelschen Entwicklung Glieder mit ungeraden Potenzen vom Tangens des Bildwinkels auftreten. Es sind dies Koma und Verzeichnung. Die anderen Fehler (die gerade Potenzen enthalten), also Öffnungs- und Schalenfehler, addieren sich dagegen. Die symmetrischen Doppelobjektive sind bei der Abbildung 1 : 1, aber nicht nur frei von Koma und Verzeichnung, sondern auch frei von der chromatischen Variation der Verzeichnung. Durch die Wahl der Blendenstellung kann man zusätzlich noch versuchen, den Astigmatismus zu beheben. Das Doppelobjektiv hat also in dieser Verwendung nur noch den Öffnungs- und den Farblängsfehler, die in jedem Teilglied gesondert behoben werden müssen. Eine Änderung des Abbildungsmaßstabes verschlechtert natürlich den Korrektionszustand, er bricht aber nicht zusammen. Vor allem bei kleiner Öffnung hat man auch für unendlichen Objektabstand eine leidliche Korrektur, bei großen Aperturen muß jedoch das ganze System nachkorrigiert werden. H.A. BUCHDAHL (126) hat jedoch in einer Theorie für die Aberrationen symmetrischer Linsensysteme gezeigt, daß es nur bei Einheitsvergrößerungen

möglich ist, alle Aberrationen gleichzeitig zu korrigieren.

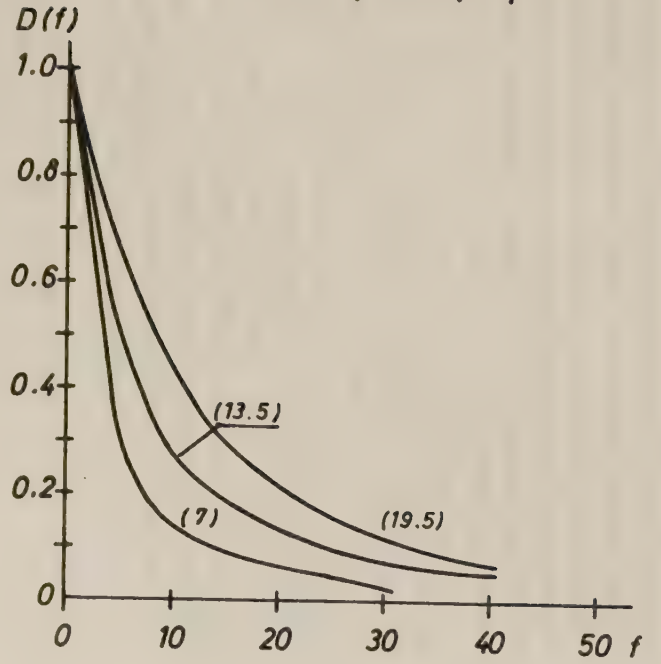
Nach früheren weniger fruchtbaren Versuchen mit symmetrischen Objektiven von T. ROSS und G.S. GUNDEL (1844) wurde diese Erkenntnis von STEINHEIL in seinem Periskop verwirklicht, das er als erstes Objektiv seiner Produktion 1865 herausbrachte. Der wesentliche Unterschied gegen die früheren Typen dieser Art war, daß man sich unter den vielen Möglichkeiten die mit den geringsten Fehlern heraussuchte. Zwei einfache Menisken standen sich hier gegenüber (s. Abb. S. 61). Radien, Dicke und Blendenabstand waren durch Rechnung so bestimmt, daß das Bild möglichst eben war und beide Hauptpunkte zusammenfielen. Durch starke Überkorrektur des Astigmatismus, hauptsächlich durch die Blendenstellung, ergab sich eine schwache mittlere Bildfeldwölbung. Diese ermöglichte nach C.A. STEINHEILs Angaben die Ausnützung eines Bildwinkels von 90°. Hierin ist auch der Grund für die Berühmtheit seines Periskops in jener Zeit zu sehen. Chromatische Korrektion wie auch solche der Sphäre bestand nicht. Deshalb und noch mehr wegen des Astigmatismus mußte sehr stark abgeblendet werden. (Öffnungsverhältnis nach M. v. ROHR, 110, 1 : 40, nach BRANDT, 113, 1 : 12. Überdies wies das Periskop einen chemischen Fokus auf.)

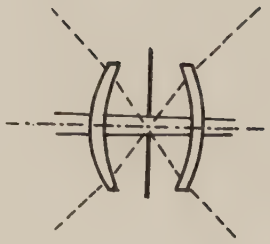
✱ Zu Seite 61

Auf dem gemessenen Objektiv selbst war keine Kennzeichnung gegeben. In dem Begleitschreiben des Deutschen Museums ist es als "Periskop mit Irisblende" bezeichnet. Die Anordnung zweier Menisken rechtfertigt diese Bezeichnung. Auf Grund des Öffnungsverhältnisses ist es jedoch sicher nicht mit dem Steinheil'schen Original zu identifizieren. Auch die Beurteilung der MÜF als eine der schlechtesten aller gemessenen Objektive, legt diesen Schluß nahe. Vermutlich handelt es sich um ein nachempfundenes, durch "Pröbeln", das heißt durch mehr oder weniger sinnvolles Probieren entstandenes Objektiv. Eine optimale Einstellung bei den beiden größeren Blenden (Bl. 7; Bl. 13,5) war wegen des kleinen Kontrasts kaum möglich, es wurde deshalb bei ca. 1/3 geöffneter Blende optimal fokussiert (Bl. 19,5) und diese Einstellung auch bei den beiden anderen Blenden,"1/2 offen", entsprechend Blende 13,5, und "ganz offen", entsprechend Blende 7, beibehalten. Eine Blendeneinteilung war auf dem Objektiv auch nicht gegeben. Die Größe des Zonenfehlers, der beim Steinheil'schen Periskop erwähnt wird, konnte somit auch nicht überprüft werden. Heute findet das Periskop als billiges Box-Objektiv (1 : 9) noch Verwendung, ebenso vereinzelt in längeren Brennweiten als Weichzeichner.

Periskop mit Irisblende* (f = 21.5 cm)

Bl. (19.5) opt. fok.





DIE APLANATE

Eine Erweiterung der Korrektionsmöglichkeiten ergab die symmetrische Anordnung zweier Achromate. Aus dieser Verbindung entstand eine Anzahl weiterer Objektive.
In der Mitte des vorigen Jahrhunderts war es noch nicht möglich, andere als axiale Strahlen trigonometrisch durch das System zu verfolgen und so eine Vorstellung von den Fehlern des Astigmatismus und ihrer Korrektion auf Grund von Ergebnissen der Rechnung zu erhalten. C.A. STEINHEIL wandte sich deshalb an seinen Freund, den Professor der Mathematik, Ludwig Philipp SEIDEL (1821 - 1896), mit der Bitte, ihn bei der Lösung dieser Aufgabe zu unterstützen. SEIDEL hatte sich schon früher mit der Forschung über die Theorie der Objektive beschäftigt. Diese Arbeiten hat er 1856 durch seine Veröffentlichung über die fünf SEIDEL'schen Abbildungsfehler zum Abschluß gebracht. Zur praktischen Berechnung von Objektiven ist diese Arbeit zu der damaligen Zeit jedoch noch nicht verwendet worden.
Im Jahre 1865 lieferte er STEINHEIL die gewünschten trigonometrischen Formeln für die Verfolgung eines beliebigen Strahles durch ein vorgegebenes Linsensystem. Sie wurden im folgenden Jahr in den Sitzungsberichten der Münchener Akademie (M. v. ROHR, 110, S. 293) veröffentlicht. Mit ihrer Hilfe berechnete STEINHEIL die Aplanate.

Die Aplanate kann man als ein System von zwei verkitteten Achromaten betrachten. Sie sind in der bei der Chevalier-Linse beschriebenen Art auf Öffnungsfehler und durch die Blendenstellung auf die Ebnung der mittleren Bildfeldwölbung hingezüchtet worden.
Die Teilglieder sind zumindest am Anfang der Serien symmetrisch zur Blende angeordnet. Die Aplanate sind damit neben der Achromatisierung, die wegen des chemischen Fokus weit in den blauen Teil des Spektrums verlegt war,

frei von Koma und Verzeichnung.
Auch ein weiterer Vorteil der symmetrischen Doppelobjektive kommt bei ihnen zum Tragen, was beim Periskop wegen dessen großen Fehlern noch nicht möglich war. Das Öffnungsverhältnis steigt nämlich auf ungefähr den doppelten Wert der Objektivhälfte, und die Belichtungszeit geht damit auf etwas mehr als 1/4 zurück. Die Begeisterung der Photographen beim Auftauchen der ersten Aplanate war deshalb sehr groß.
Je mehr man aber bei der Berechnung der Teilglieder die Schalenfehler mit kleinem Blendenabstand korrigieren will, desto schwieriger wird die Beseitigung des Öffnungsfehlers. Es stellt sich hier wieder die grundsätzliche Frage: soll eine bessere Korrektion der Bildmitte erfolgen, also Behebung der Öffnungsfehler, oder sollen die Feldfehler auf Kosten der Sphäre verbessert werden. Bei den Aplanaten führte das zu verschiedenen Serien.

Im Sommer 1856 wurde der erste Aplanat fertiggestellt und im Dezember desselben Jahres auch patentiert (Bayerisches Patent). Seine symmetrisch angebrachten Hälften bestanden aus einem der Blende zugekehrten sammelnden Meniskus und einem mit ihm verkitteten, nach außen stehenden, zerstreuenden Meniskus. Beide Linsen bestanden aus Flintgläsern mit geringen Farbzerstreuungsdifferenzen, was eine Folge des Wunsches nach hohen Brechkräften bei den Einzellinsen war. Die Öffnung betrug 1 : 8, der Bildwinkel vermutlich 43°.

Als nächstes erschien der Aplanat "2. Form" mit einer Öffnung 1 : 9,1, der eine wesentliche Verbesserung der sphärischen Aberration brachte. Auch ist das Objektiv kürzer als sein Vorgänger geworden.

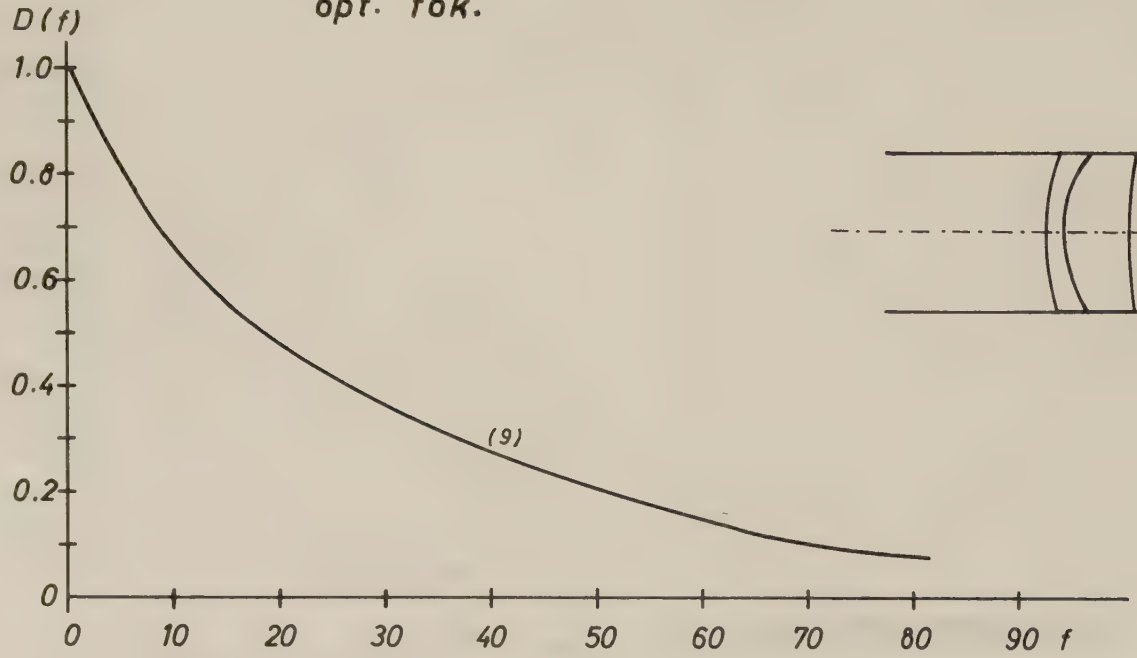
Eine wesentliche Änderung brachte dann der folgende Landschaftsaplanat, dessen Berechnung 1873 erfolgte. Hier war großer Wert auf eine gute Bildfeldebnung für

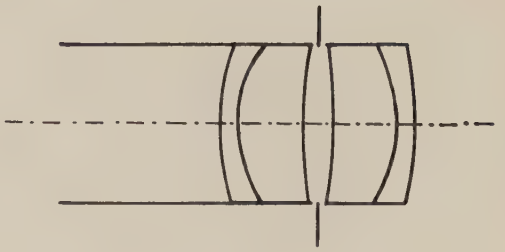
große Bildwinkel (bis 60°) gelegt, den Öffnungsfehler beseitigt man durch stärkeres Abblenden. Die Baulänge dieses Objektivs war sehr kurz. Nach M. v. ROHR (110) betrug das Öffnungsverhältnis etwa 1 : 10,5. Das gemessene Exemplar - es wurde am 27.6.1896 verkauft (nach Angaben der Firma STEINHEIL) - hatte eine maximale Öffnung von 1 : 9. Gegenüber dem Vorgänger-Objektiv zeigt sich eine deutliche Verbesserung der MÜF. Leider waren jedoch keine Einsatzblenden mehr vorhanden, so daß das Verhalten beim Abblenden und auch die Größe der Zonenfehler nicht beobachtet werden konnten (s. S. 65).

Ein Extrem in der Verwendung des Aplanattypus, bei dem die Korrektur in derselben Richtung erfolgt ist, ist der Weitwinkelaplanat, dessen Berechnung auf 1871 zurückgeht. Die wirksame Öffnung betrug nach M. v. ROHR (110) 1 : 17,7. Der gemessene Vertreter (Öffnungsverhältnis 1 : 20) zeigt für Blende 20 fast die gleiche MÜF wie der Landschaftsaplanat für Blende 9. Da hier der Bildfeldwinkel 94° beträgt, muß also, um dieselbe Schärfe zu erreichen, erheblich stärker abgeblendet werden (s. S. 66). Dieses Objektiv wurde am 29.9.1909 von der Firma direkt dem Deutschen Museum übergeben.

Steinheil in München Nr. 38022 Landschafts Aplanat 17mm
(f = 15.5 cm)

opt. fok.

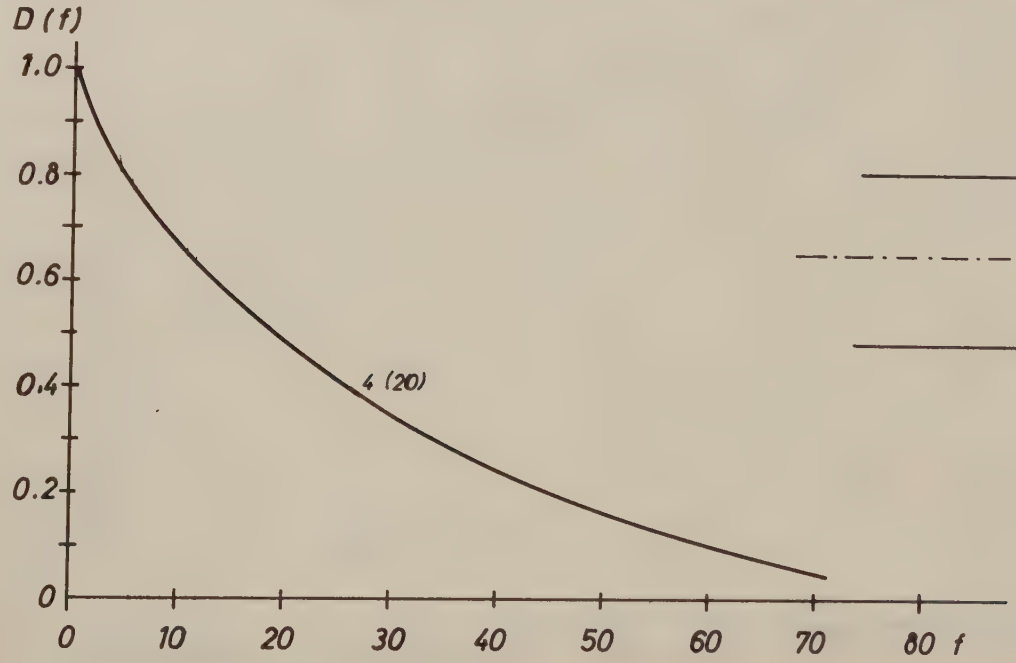


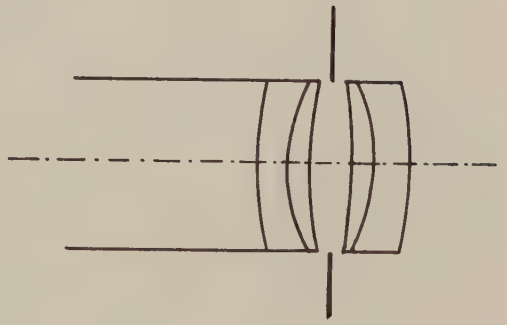


Steinheil in München Nr. 56103 Weitwinkel Aplanat 9 mm

f = 15 cm

opt. fok.





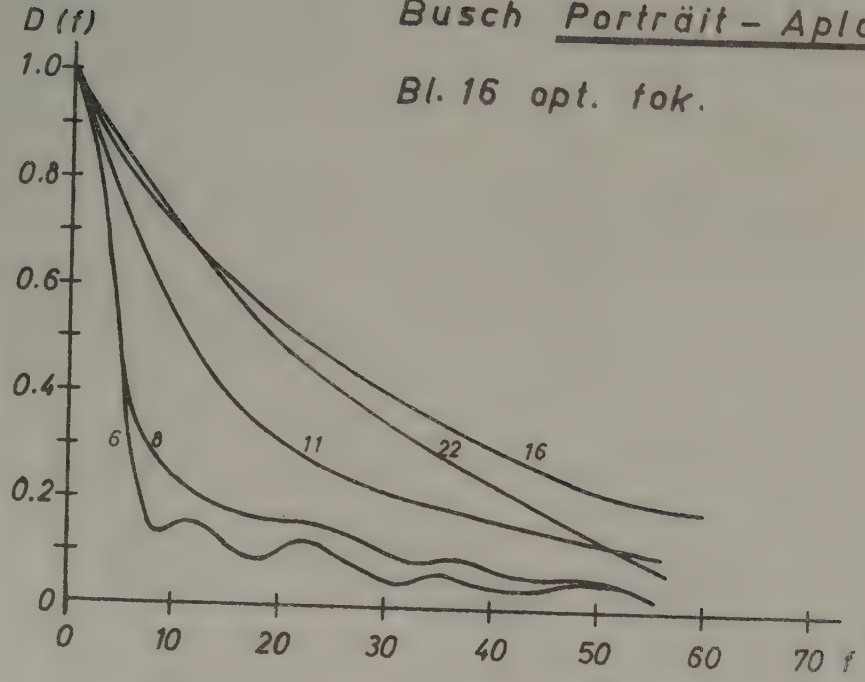
Die Aufgabenstellung an ein Objektiv für Portrait-Aufnahmen ist eine grundsätzlich andere als für Landschaften. Hier ist ein großes Öffnungsverhältnis und eine gute Korrektur der sphärischen Fehler erwünscht, dagegen können Einschränkungen im Bildfeld ohne weiteres hingenommen werden. Die sphärische Korrektur des Portrait-Aplanaten ist bei symmetrischer Konstruktion und großer Öffnung nur unter Zulassung großer Zonenfehler möglich.

Bei dem gemessenen Portrait-Aplanat von Emil BUSCH (s. S. 68, 69), der nach Aussagen der Firma wohl zwischen 1870 und 1900 entstanden ist, zeigt sich ein ausgeprägter Zonenfehler. Die Blenden 6 und 8, bei denen das Objektiv sowieso nicht sehr leistungsfähig ist, zeigen bei optimaler Fokussierung von Blende 16 als eines der wenigen Objektive der ganzen Meßreihe Scheinauflösung, die bekanntlich nur bei sehr starker Defokussierung auftritt.

Emil Busch A.-G. Rathenow

Busch Porträit-Aplanat f:6 f=35 cm

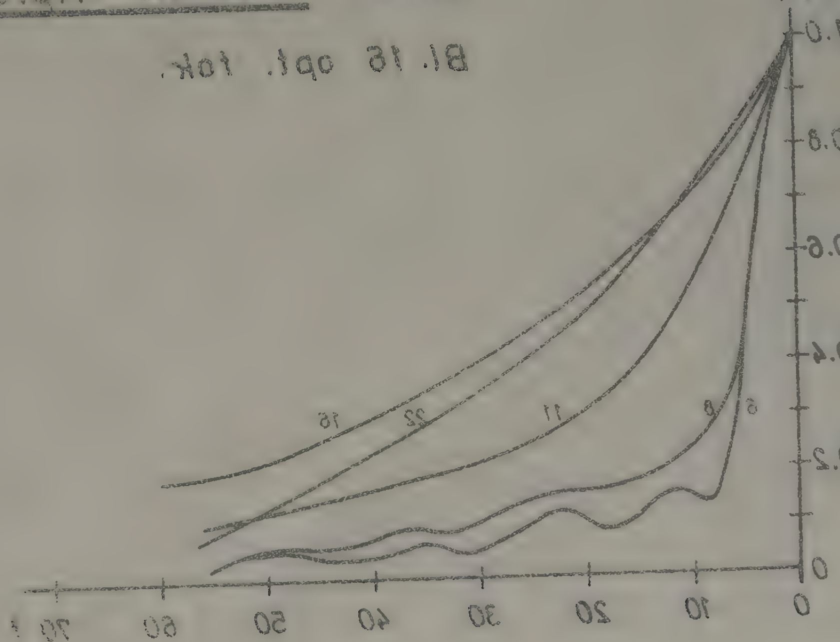
Bl. 16 opt. fok. [Abb. Verh. 6.5:1]



Emil Busch A.-G. Rathenow

Busch Porträt-Aplanat f:6 f=35 cm

Bl. 16 opt. fok. [Abb. Verh. 6 5:1]

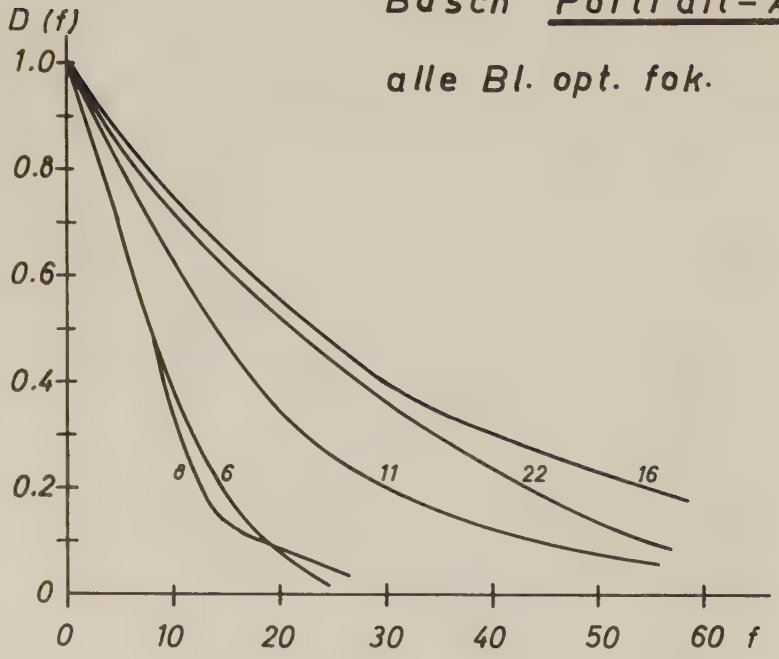


Emil Busch A.-G. Rathenow

Busch Porträit-Aplanat f:6 f=35 cm

[Abb. Verh. 6.5:1]

alle Bl. opt. fok.



DER PORTRAIT-ANTIPLANET VON STEINHEIL

Um die noch erheblichen Zonenfehler zu vermeiden und um dem vom Abbildungsverhältnis 1 : 1 abweichenden Gebrauch der Objektive Rechnung zu tragen, hat sich STEINHEIL bei den lichtstarken Aplanaten schrittweise von der Symmetrie entfernt. So entstanden 1874 und 1875 zwei unsymmetrische Portrait-Aplanate aus Kron- und Flintglas. Während der erste noch wenig von der Symmetrie abwich, sind beim zweiten nur die Kittfläche und die Dicke der Flintlinse in beiden Gliedern gleich. Diese sind in sehr großem Abstand voneinander aufgestellt. 1881 erschien dann in völliger Abkehr von der Symmetrie der Portrait-Antiplanet mit einem Öffnungsverhältnis von 1 : 3,9 und einem Bildfeld von 31°. (D.R.P. 16354, s. Abb. S. 72)
Hier wurden im Vorder-, bzw. Hinterglied Abweichungen entgegengesetzten Vorzeichens systematisch angehäuft, daher auch der Name des Objektivs. Es bestand aus einer Sammellinse aus Kron- und einer Zerstreuungslinse aus Flintglas im Vorderglied sowie einem unverkitteten Hinterglied mit Zerstreuungs- und Sammellinse. Es war dies das erste und einzige Mal unter den Aplanatkonstruktionen, daß STEINHEIL ein Objektiv mit mehr als 4 reflektierenden Flächen baute. Dadurch wurde eine Leistungsverbesserung möglich, allerdings unter dem Verzicht, die Bildausdehnung durch Abblendung weiter zu steigern. Der Antiplanet überraschte besonders bei kleinen Bildwinkeln (bis 31°) durch gute astigmatische Korrektion bei verhältnismäßig geringer mittlerer Bildfeldwölbung, so daß man ihn schon mit gutem Recht als einen der Vorläufer der Anastigmate betrachten kann. Auch die Koma ist gut korrigiert und der Öffnungsfehler so weit heruntergedrückt, daß es mit einem derart hohen Öffnungsverhältnis konstruiert werden konnte.

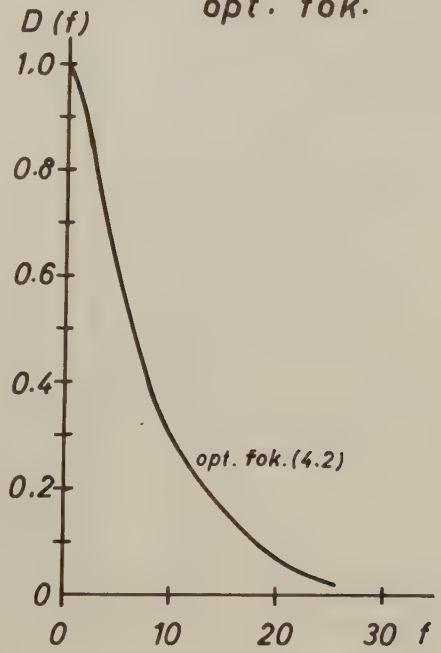
Auch bei dem hier gemessenen Exemplar, das am 27.2.1894

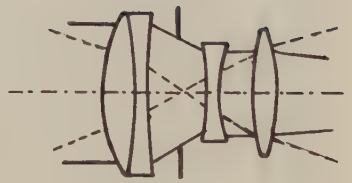
verkauft wurde, waren die Einsatzblenden nicht mehr vorhanden, so daß die MUF nur für die größte Öffnung (1 : 4,2) gemessen werden konnte. Die oben angeführten guten Eigenschaften, die dem Antiplaneten überall bescheinigt werden, lassen sich leider bei diesem Exemplar nicht ganz erkennen (s. S. 72). Es liegt die Vermutung nahe, daß das gemessene Objektiv im Laufe der Zeit größere Schäden erlitten hat, wenn sie auch nicht äußerlich sichtbar sind. Durch den konvergenten Strahlengang zwischen den Gliedern und die getrennt aufgestellten Linsen des Hintergliedes wird das Objektiv gegen äußere Einwirkungen auch besonders empfindlich.
Entsprechende Erfahrungen wurden mit dem ähnlich konstruierten Petzval-Objektiv gemacht.

Ein direkter Vergleich der MÜF mit der ähnlicher Typen, wie z.B. mit dem vorangegangenen Portrait-Aplanat oder dem folgenden Gruppen-Aplanat,ist wegen der unterschiedlichen Brennweiten nicht sehr sinnvoll. Er wird unter anderen Bedingungen an späterer Stelle nachgeholt (s. S. 188).

Steinheil in München Nr. 39119 Patent

Portrait Antiplanet 59 mm (f=18 cm)





DER GRUPPEN-APLANAT VON STEINHEIL

Eine Übergangsstellung zwischen den Landschafts-Aplanaten und den Portrait-Aplanaten nehmen die Gruppen-Aplanate (s. Abb. S. 74) und Antiplanete mit einem Öffnungsverhältnis von ca. 1 : 6 ein (110).

Gegenüber den ersteren hatten sie ein deutlich ausgebildetes, "in übertragenem Sinn" geebnetes Bildfeld, d.h. die Ebnung wurde durch Einführung eines relativ großen negativen Astigmatismus erkauft. Auch bezüglich der sphärischen Aberration waren sie recht gut korrigiert. Bei ihnen haben die beiden Objektivglieder nicht die geringsten Symmetriebeziehungen zueinander. Die großen Dicken, besonders die der hinteren Linse, führen zu einer relativ großen Baulänge. Sie erwiesen sich als sein Hauptnachteil, da Schwierigkeiten bei der Beschaffung des dazu nötigen Glasmaterials bestanden. Diese Objektive erschienen erstmalig im Jahre 1879, in dem der Typ auch berechnet worden war.

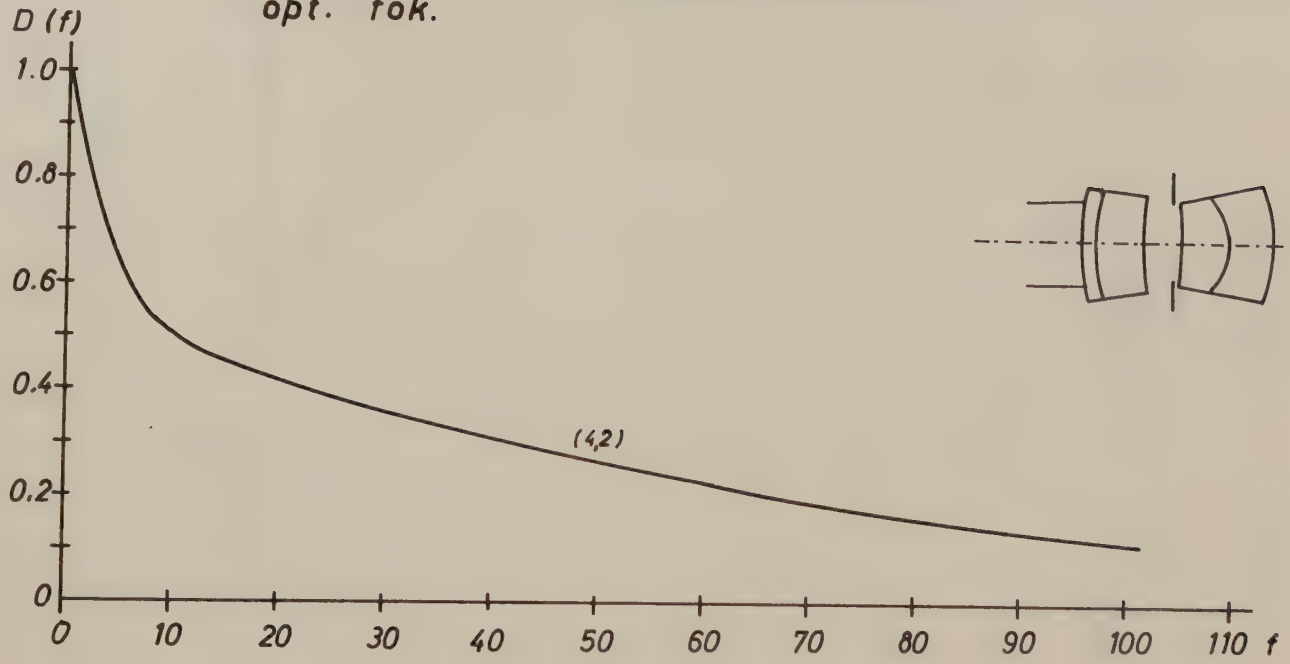
Entgegen den Angaben hat das gemessene Exemplar eine maximale Öffnung von 1 : 4,2. Es wurde am 11.4.1883 von der Firma verkauft. Einsatzblenden waren auch hier nicht vorhanden. Soweit ersichtlich, deckt sich jedoch die Konstruktion mit der in der Zeichnung angegebenen. Bemerkenswert ist das sehr rasche Absinken des Kontrasts bei kleineren Frequenzen, während er bei sehr hohen Frequenzen nur langsam gegen Null geht (s.S.74).

Für starke Kontraste war demnach das Auflösungsvermögen dieses Objektivs sehr hoch.

Steinheil in München Nr. 9658 Patent

Gruppen Aplanat 20 mm (f = 8.5 cm)

opt. fok.



DER RAPID-ANTIPLANET

Das Korrektionsprinzip des Antiplaneten, das auf den Berechnungen von 1881 basiert, wurde auch für die Gruppenobjektive angewendet, von denen in späterer Zeit (1893) von dem Sohne R. STEINHEIL eine Modifikation unter der Bezeichnung Rapid-Antiplanet (s. Abb. S. 77) herausgebracht wurde. Angestrebt wurde bei dieser Weiterführung des Gruppenobjektivs eine möglichste Bildebnung im übertragenen Sinn (s. S. 73).

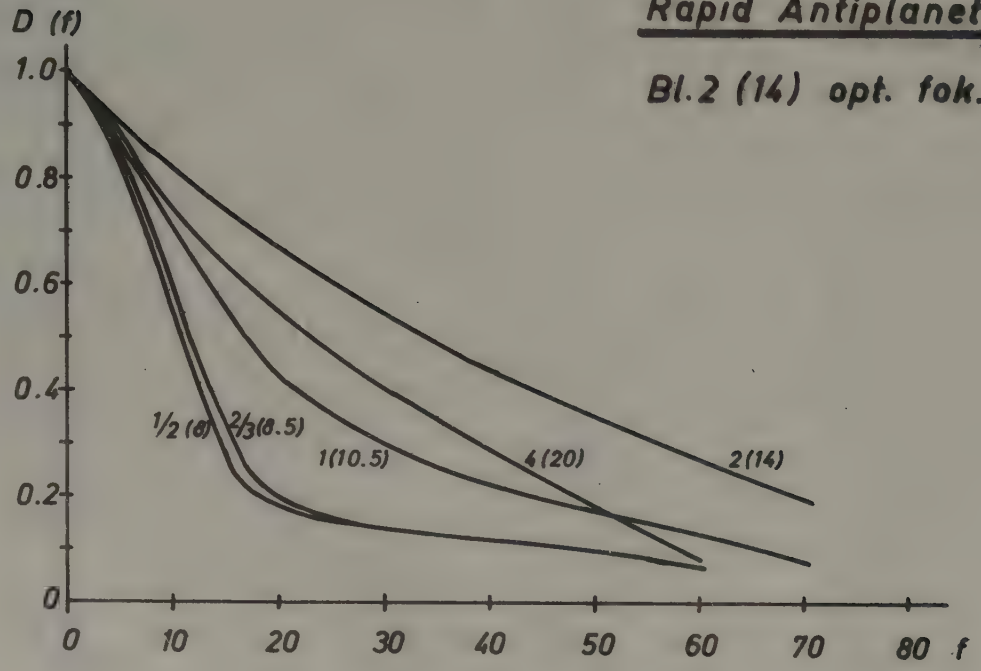
Aus der MÜF ist der sehr ausgeprägte Zonenfehler dieses Objektivs deutlich ersichtlich (s. S. 76, 77). Dieses Objektiv wurde am 17.3.1898 ausgeliefert und ging direkt in den Besitz des Deutschen Museums in München über.

Wie R. STEINHEIL selbst zugegeben hat, ist mit der Einführung der Antiplanete nach der Richtung der astigmatischen Bildfeldebnung kein wesentlicher Vorteil erzielt worden, d.h. das Gesamtsystem der Aplanate und Antiplanete war immer mit Astigmatismus und Bildfeldwölbung behaftet. Ihre Mittelschärfe dagegen war ebenso gut wie die der zuerst in den Handel gebrachten symmetrischen Anastigmate gleicher Lichtstärke. (Vergl. S. 193)

Steinheil in München Nr. 44725 Patent

Rapid Antiplanet 21mm f=12cm

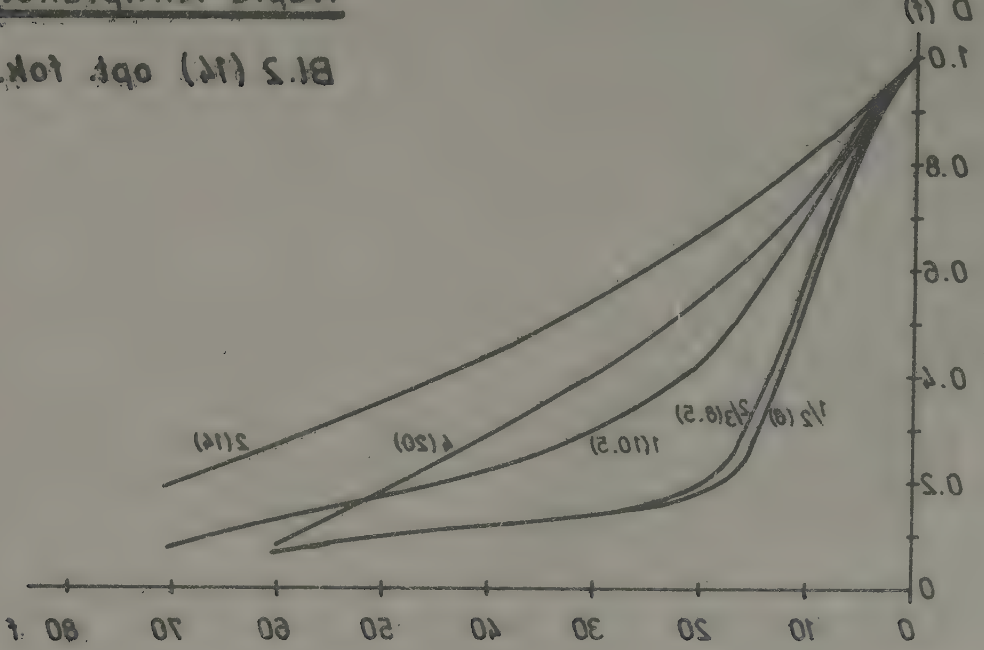
Bl. 2 (14) opt. fok.



Steinheil in München Nr. 44725 Patent.

Rapid Antiplanet 21mm f=12cm

Bl. 2 (16) opt. fok.

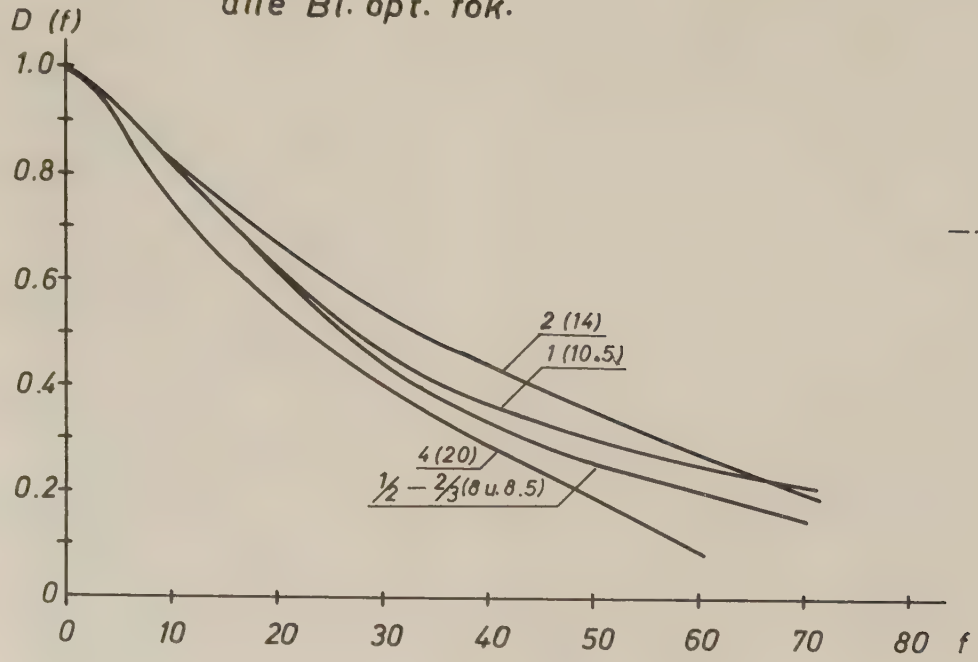


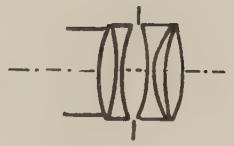
76

Steinheil in München Nr. 44725 Patent Rapid Antiplanet 21mm

f = 12 cm

alle Bl. opt. fok.





DAS RAPID RECTILINEAR VON DALLMEYER

Das folgende Objektiv soll noch ein Beispiel für die Leistungsfähigkeit und die Bedeutung der Aplanat-Konstruktion sowie der mit ihr verwandten Systeme geben.

In England brachte im Jahre 1866 J.H. DALLMEYER ein Patent ein, in dem ein aplanatartiges Weitwinkelobjektiv beschrieben wird. Dieser Typ wurde im Laufe der Zeit auf ein Öffnungsverhältnis von 1 : 6 gesteigert und mit Rapid-Rectilinear bezeichnet. Im Gegensatz zu den STEINHEIL' schen Aplanaten, die auf Berechnung basierten, gehen diese Objektive noch immer auf "Pröbeln" zurück. Es entstand damals in England ein, wenn auch nur mit heftigen Worten, ausgetragener Streit, in dem J.H. DALLMEYER die Priorität des Aplanaten nach dem obigen Patent für sich beanspruchte. Einen Beweis für diese Behauptung konnte er jedoch nicht erbringen. In Ermangelung eigener Konstruktionen und in Anlehnung an den englischen Namen sind auch in Frankreich während des letzten Viertels des vorigen Jahrhunderts aplanatartige Systeme unter dem Namen Rectiligne gebaut worden, wie bei M. v. ROHR (110) berichtet wird. Bei dem gemessenen Prüfling lassen diese Umstände wie auch der augenscheinliche Aufbau aus zwei annähernd gleichen Paaren von einfach verkitteten Linsen auf einen Aplanaten schließen. Genauere Kenntnisse waren jedoch nicht zu erlangen.

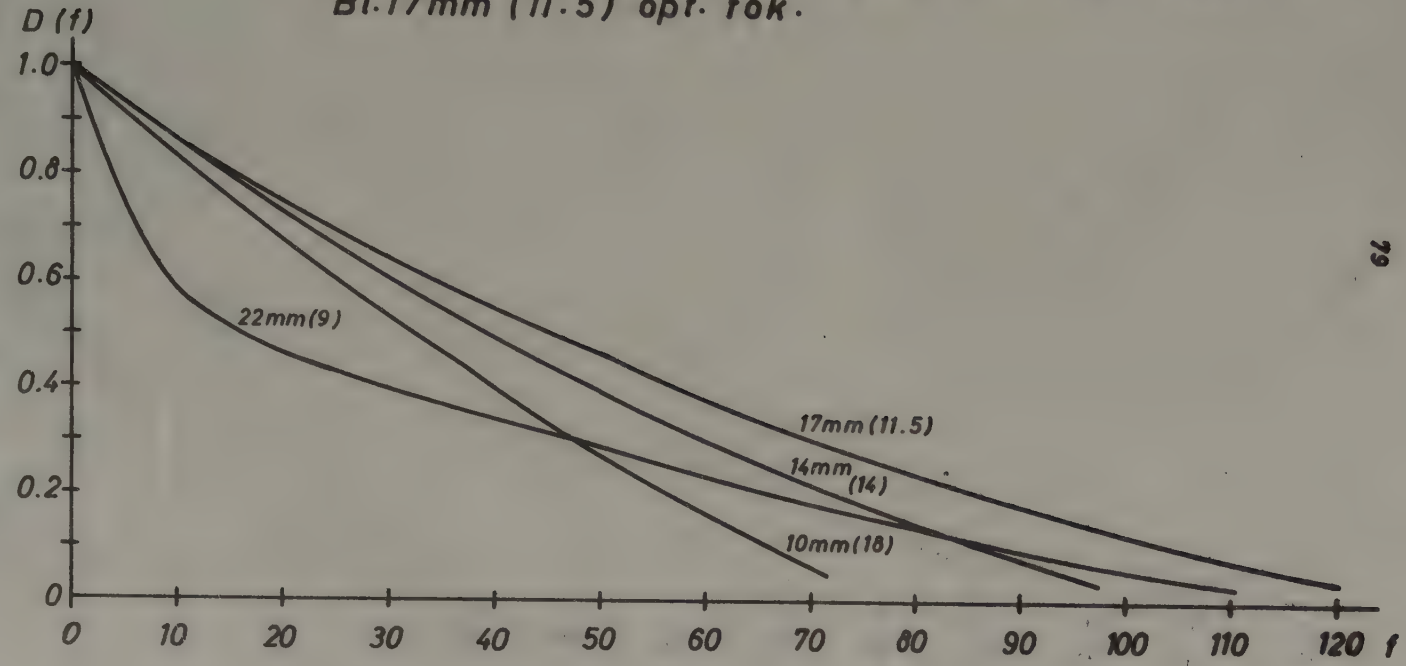
Die MÜF zeigt für alle Blenden bis zu großen Linienfrequenzen einen, besonders bei Berücksichtigung der langen Brennweite, hohen Kontrast (s. S.79, 80)
Auch der Zonenfehler ist nur gering. Bemerkenswert ist, daß diese hohe Qualität wohl durch "Pröbeln" erreicht wurde. Das läßt verstehen, daß man in weiten Kreisen besonders Englands und Frankreichs noch lange Zeit diesem Korrekturverfahren gegenüber der Berechnung den Vorzug gab.

Daß die Aplanate in späterer Zeit ihre Bedeutung völlig verloren haben und heute nicht mehr gebaut werden, liegt daran, daß es inzwischen möglich geworden ist, schon mit 3 Linsen billigere und zudem anastigmatisch korrigierte Systeme zu bauen.

J. Gion, Paris Nr. 4962 Rectiligne Extra Rapide Nr. 3

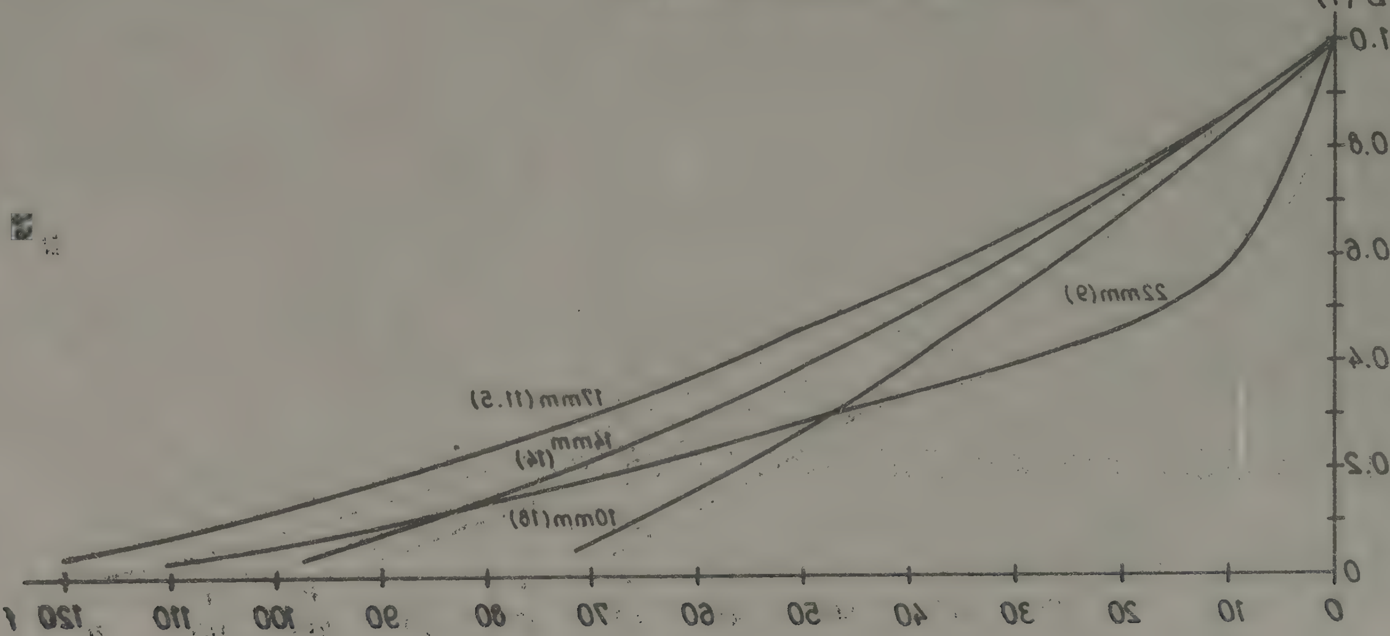
[Abb. Verh. 11:1] (f = 22 cm)

Bl. 17mm (11.5) opt. fok.



79

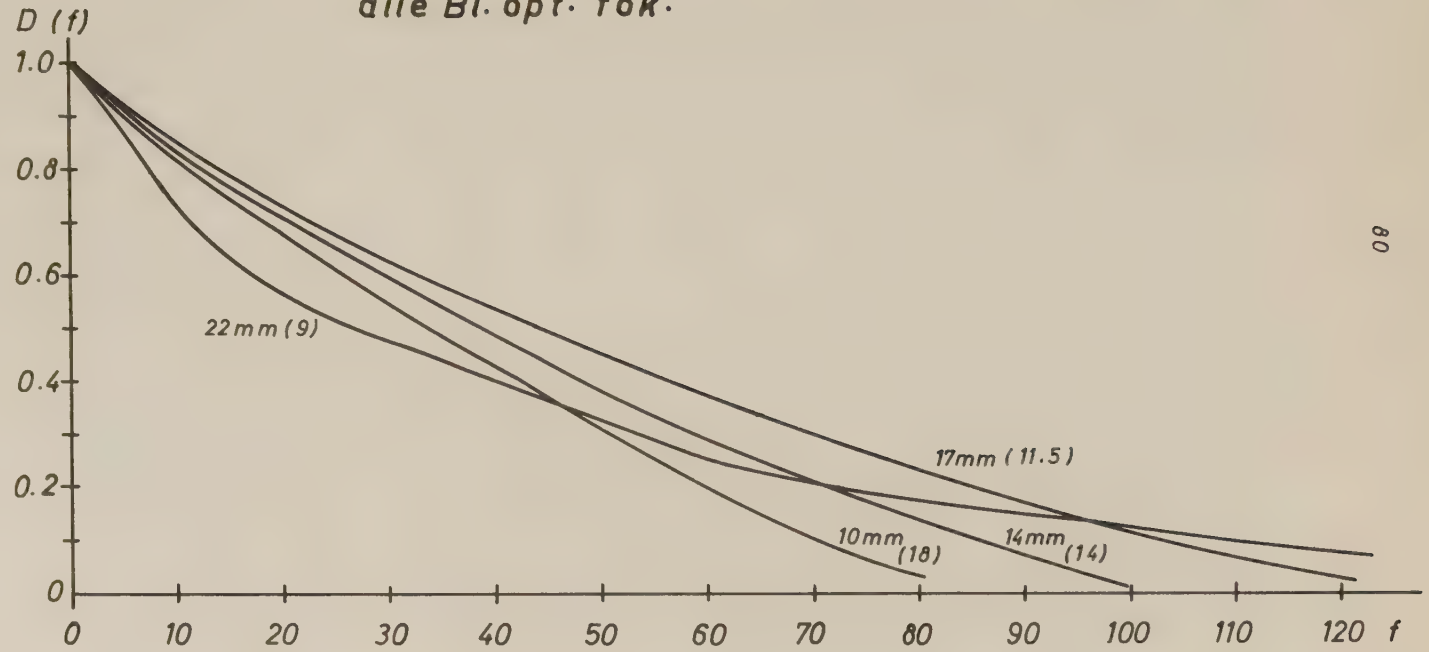
J. Gion, Paris Nr. 4962 **Rectiligne Extra Rapide** Nr. 3
[Abb. Verh. 11:1] (f=22cm)
Bl. 17mm (11.5) opt. fok.



J. Gion, Paris Nr. 4962 Rectiligne Extra Rapide Nr. 3

[Abb. Verh. 11:1] (f = 22 cm)

alle Bl. opt. fok.



DAS PETZVAL-OBJEKTIV

Eine Pionierleistung in der Entwicklungsgeschichte der Photoobjektive war eine Konstruktion, die in verschiedener Hinsicht unter den anderen eine Sonderstellung einnimmt. Es ist dies das nach seinem Konstruktuer, dem 1807 in Ungarn geborenen Wiener Mathematikprofessor Josef PETZVAL, genannte PETZVAL-Objektiv. Bereits 1840 war seine Konstruktion vollendet,und es ist der erste Typ, der nicht durch "Pröbeln", sondern durch Rechnung entstanden war. Infolge seiner außerordentlichen Leistung und des geschäftlichen Geschicks Friedrich VOIGTLÄNDERS erfuhr dieses Objektiv eine beispiellose Verbreitung und beherrschte bald den ganzen Markt. PETZVAL, der über seine Eigentumsrechte an der Konstruktion mit dem ausführenden Optiker, nämlich VOIGTLÄNDER, keinen Vertrag abgeschlossen hatte, konnte jedoch an diesen finanziellen Erfolgen nicht teilhaben. Eine einmalige Zahlung VOIGTLÄNDERS konnte den Bruch mit PETZVAL, der seinerseits die Leistungen VOIGTLÄNDERS nicht anerkannte, im Jahre 1843 nicht aufhalten. Nach drei weiteren vergeblichen Versuchen, sich mit anderen Optikerwerkstätten erfolgreich zusammenzuschließen, zog sich PETZVAL von der rechnenden Optik zurück und wandte sich anderen Gebieten der angewandten Mathematik zu. Er starb verbittert und abgewandt von allen Vorgängern der photographischen Optik im September 1891 in Wien.

In rein historischer Sicht hätte dieses Objektiv gleich hinter der CHEVALIER-Linse seinen Platz. Aber es soll erst hier betrachtet werden, weil erst aus der Kenntnis der Korrektion der vorangegangenen Objektive die gänzlich unterschiedliche Anordnung verständlich ist. Im Gegensatz zu den bisher behandelten mehrlinsigen Systemen ist hier auf jede Symmetrie verzichtet.
Die Fehler, die sich dort durch die symmetrische Anord-

nung der Linsen von selbst beheben, müssen also hier anders bekämpft werden. Das PETZVAL-Objektiv (s.Abb.S.84) besteht aus 4 Linsen, die zu zweien durch einen verhältnismäßig langen Luftabstand getrennt sind. Dazwischen steht im konvergenten Strahlengang die Blende. Das objektseitige Linsenpaar ist aus einer Kron- und einer Flintlinse verkittet; das hintere enthält zwei unverkittete Linsen in der Reihenfolge Flint-Kron. Dabei fällt dem Hinterglied die Korrektion des Astigmatismus des ganzen Systems zu, während das Vorderglied die Aufgabe hat, die Öffnungs- und Komafehler zu beseitigen. Der große Abstand zwischen den Gliedern dient zur Streckung der astigmatischen Bildfläche. Als Erfolg dieser Anordnung hatte das Objektiv eine bemerkenswert gute Korrektion der sphärischen Abweichung und der Koma, ohne große Zonenfehler in Kauf nehmen zu müssen; auch die Farbfehler und die Verzeichnung waren gut korrigiert. Der dem System anfangs anhaftende chemische Fokus wurde noch von PETZVAL selbst behoben. Der Astigmatismus selbst war völlig korrigiert, d.h. das Bild liegt auf der PETZVAL-Schale. Diese hat jedoch eine recht starke Krümmung, mit anderen Worten, die von ihm selbst geforderte "PETZVAL-Bedienung" zur Behebung der Bildfeldwölbung ist bei seinem eigenen Objektiv nicht erfüllt. Die Folge ist ein nur kleines brauchbares Gesichtsfeld von etwa 20°, was jedoch in der Verwendung als Portrait-Objektiv nicht stört.
Die hervorragende Schärfe und Brillanz in der Bildmitte und deren näheren Umgebung erlaubt mit einem Öffnungsverhältnis von 1 : 3,2 eine für die damalige Zeit unerhörte Lichtstärke. Abblenden bringt bei diesem Objektiv bezüglich des Bildfelds nur wenig, es ändert sich nur die Schärfentiefe. Die angeführten Eigenschaften machten das PETZVAL-Objektiv als "Schnellarbeiter" für die Portrait-Photographie besonders geeignet. In dieser Ausführung hat es sich auch bis in die neueste Zeit

als Atelier-Objektiv gehalten. In etwas abgeänderter Form wird es sogar heute noch zur Kinoprojektion für den Normalfilm verwendet. Die Erweiterungsmöglichkeiten sind allerdings bei dieser Konstruktion stark begrenzt, da eine direkte Verwandtschaft mit anderen Typen nicht besteht. Größere Änderungen führen dann auch zu Objektiven, die anderen Typen, besonders den Anastigmaten, viel mehr verwandt sind als dem PETZVAL-Objektiv selbst.

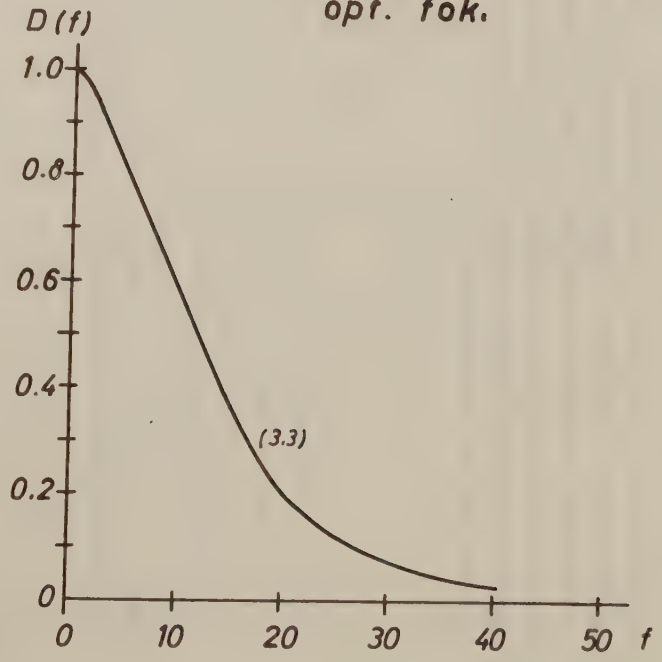
Eine Verbesserungsmöglichkeit soll jedoch nicht unerwähnt bleiben: das Bildfeld mittels einer vor der Filmebene angebrachten SMYTH-Linse zu ebnen, was das PETZVAL-Objektiv zu einem Anastigmaten macht. Ihr großes Gewicht, besonders bei den damals verwendeten Großformaten, verbunden mit den fertigungstechnischen Schwierigkeiten (der konvergente Strahlengang erfordert mehr genauen mechanischen Aufbau des Objektivs) gaben jedoch auch dieser Anordnung keine Zukunft.

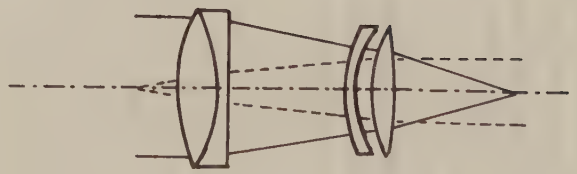
Das gemessene Exemplar der Firma VOIGTLÄNDER (s. S. 84) wurde nach deren Angaben im Jahre 1865 gebaut. Einsatzblenden waren nicht mehr vorhanden. Wie auch beim Portrait-Antiplaneten ist anzunehmen, daß das empfindliche Objektiv die lange Zeit seit seiner Herstellung nicht ganz ohne Schäden überstanden hat.

Voigtländer u. Sohn Nr. 12931 Wien u. Braunschweig

(Petzvalobjektiv) * (f = 17 cm)

opt. fok.





DIE ANASTIGMATE

DAS PANTOSCOP

Alle bisher besprochenen Objektive gehörten zu einer Gruppe, zu der der Astigmate. Ihre sphärischen und chromatischen Fehler sind im paraxialen Bereich korrigiert, für schräge Strahlen sind die Bildfehler jedoch noch ausgeprägt,und die Systeme zeigen Astigmatismus. Im Gegensatz dazu stehen die Objektive, bei denen eine befriedigende Korrektur aller Bildfehler über das ganze Bildfeld hinweg erreicht und bei denen besonders die Bildfeldwölbung behoben ist. Wegen dieser ihrer anastigmatischen Bildfeldebnung bezeichnet man sie als Anastigmate.

Wie bereits beim zweiten Objektivbeispiel gezeigt wurde (CHEVALIERlinse und Achromate, s. S.55),liefert die Berücksichtigung der PETZVAL-Summe die gesuchte anastigmatische Bildfeldebnung. Daß die PETZVAL-Bedingung jedoch nicht nur für Linsen vernachlässigbarer Dicke gilt, wurde lange Zeit übersehen. Man glaubte deshalb ein halbes Jahrhundert lang, daß man nur durch Einführung von hochbrechenden Krongläsern zur astigmatischen Ebnung kommen könne. Das wurde auch durch die Einführung der Neuachromate und die daraus resultierenden Konstruktionen bestätigt.

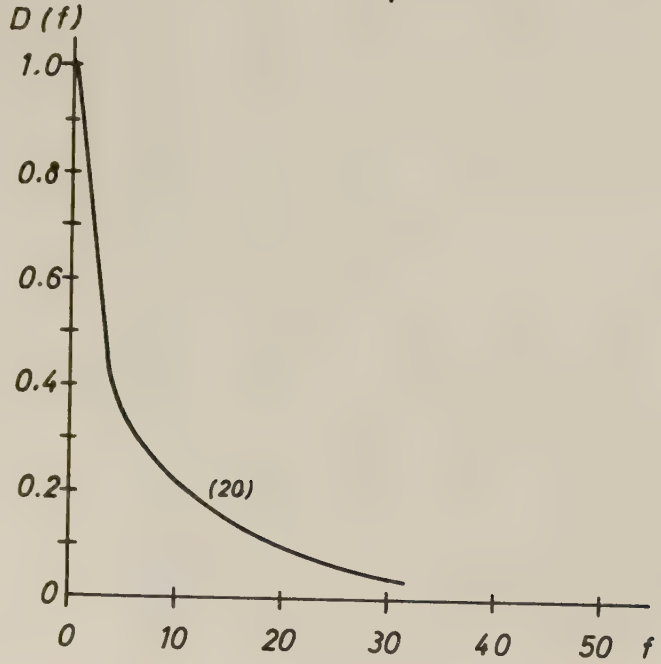
Bei endlichen Linsendicken kommt man auf Krümmungen der brechenden Flächen, die einen Aufbau der Anastigmate auch aus alten Gläsern ermöglichen. Dies geschah beim HOEGH'schen Meniskus (1900), der von der Firma GOERZ als Hypergon gebaut wurde. Die konkav-konvexe Meniskuslinse endlicher Dicke hat innen und außen den gleichen Radius. Die gewünschte Brennweite kann durch Variationen der Radien oder der Dicke erhalten werden. Die PETZVAL-Summe verschwindet in jedem Fall. Die Blende steht im Krümmungsmittelpunkt der Außenfläche. Durch geeignete Wahl des Blendenabstands kann man erreichen, daß sich auch der Astigmatismus gut an Innen- und Außenfläche kompensiert. Dazu ist notwendig, daß der Hauptstrahl an der inneren zerstreuenden und der äußeren sammelnden Fläche

jeweils im gleichen Sinne abgelenkt wird. Denn dann wird die astigmatische Deformation des unendlich schmalen Bündels an der inneren, durch die entsprechende an der äußeren Fläche aufgehoben. Die Bildfeldebnung ist beim Hypergon also eine echte, und sie erlaubte einen ungeheuer großen Bildfeldwinkel von 135°. Man kann es damit, wenn auch nicht in historischem Sinne, als die Urform der Anastigmate betrachten. Die jedoch unkorrigiert gebliebenen sphärischen und chromatischen Fehler ließen es nicht mit einer größeren Öffnung als 1 : 32 verwenden. Gegen die starke bei ihm auftretende Vignettierung wurde die Helligkeit in der Bildmitte mit einer Sternblende herabgesetzt. Die Scharfeinstellung erfolgte bei Blende 22, die Aufnahme jedoch bei Blende 32.

Ein Hypergon stand zur Messung nicht zur Verfügung. Das Hypergon hatte jedoch einen Vorläufer aus dem Jahre 1865 im Pantoscop (s. Abb. S. 87), das man in jeder Hinsicht als Vorläufer des Doppelanastigmaten bezeichnen kann. Es wurde von der Firma BUSCH hergestellt, die in ihrer Gründung auf die Brillenfabrik von Johann Heinrich August DUNCKER zurückgeht und von dessen erbenlosem Sohn auf den Neffen Emil BUSCH übertragen wurde. Das Pantoscop besteht in etwa aus 2 achromatisierten Hoegh'schen Menisken und zeigte gute chromatische Korrektur und keinen chemischen Fokus. Seine Bildfeldebnung ist nicht ganz vollkommen, sie hätte nach M. v. ROHR (110) durch eine kleine Veränderung des Blendenabstands erheblich verbessert werden können. Der Öffnungsfehler ist sehr groß, daher konnte es auch nur mit sehr kleiner Öffnung verwendet werden. Das Objektiv hatte nach Angaben in der Literatur für die Aufnahme eine maximale Öffnung von 1 : 30. Die Öffnung 1 : 20 diente, wie auch beim Hypergon, wohl nur zur Einstellung auf der Mattscheibe. Da auch hier keine Einsatzblende vorhanden war, wurde es mit dieser Blendenstellung gemessen. Aber selbst diese lag an der Empfindlichkeitsgrenze der Empfängereinheit. Seine wesentliche Leistung als Weitwinkel (der Bildwinkel betrug 98° und wurde nur vom Hypergon übertroffen) ist aus der axialen Messung ohnedies nicht ersichtlich. Das gemessene Exemplar wurde nach Aussagen der Firma BUSCH zwischen 1870 und 1900 gebaut.

R.O.J.A. vorm. Emil Busch Rathenow Pantoscop (f = 18 cm)

opt. fok.



DIE DOPPELANASTIGMATE

DAS PROTAR VON ZEISS

Die Anwendung des im Pantoscop verwendeten Konstruktionsprinzips zur anastigmatischen Bildfeldebnung wurde bis zur Jahrhundertwende nur bei diesem Objektiv verwirklicht. Lediglich beim Steinheil'schen Antiplanet ist ein Ansatz in dieser Richtung zu sehen, doch war, wie wir gesehen haben, sich auch STEINHEIL selbst der Unvollkommenheit bewußt. So blieb mit den alten Gläsern eine Verwirklichung der anastigmatischen Korrektion unerreichbar. Selbst nach der Einführung der neuen Gläser durch Otto SCHOTT im Jahre 1886 verging noch einige Zeit bis zum Erscheinen der ersten Anastigmate. Paul RUDOLPH nahm 1886 die Gelegenheit wahr, für die Firma ZEISS Rechnungen durchzuführen, was ihm als Institutslehrer in Lautersberg a.H. bei den damaligen ungünstigen Anstellungsverhältnissen sehr gelegen kam. Nach Mikroskop- und Fernrohrberechnungen, bei denen außeraxialen Punkten nur wenig Beachtung geschenkt wurde, befaßte er sich zunächst gemeinsam mit ABBE mit der Berechnung eines neuartigen apochromatischen Objektivs, das jedoch kein Erfolg wurde. Gleichzeitig begann er Versuche anzustellen, um eine Konstruktion zu finden, die den Hauptfehler der damaligen Objektive, den Astigmatismus, beheben sollte. Als Erfolg dieser Bemühungen wurde im Jahre 1890 das Patent Nr. 56109 eingereicht. Aus ihm werden die Ansichten RUDOLPHs klar ersichtlich, daß die Forderungen, die zur Behebung der Bildfeldwölbung führen, denen entgegenstehen, die zur sphärischen Korrektur führen. Er fordert daher zur gleichzeitigen Behebung von Sphäre und Astigmatismus für alle Dubletts aus verkitteten Linsen, daß die Abstufung der Brechzahl eine gegensätzliche sein müsse. Für die Zusammensetzung aus zwei Einzelsystemen, die beide positive Brennweite haben, führt das

zur Verwendung eines Altachromaten (Achromasie und Sphärenkorrektion) und eines Neuachromaten (Korrektion der Achromasie und Bildfeldwölbung). In der Ausführung hatten diese Anastigmatdubletts, die später unter dem Namen Protar große Berühmtheit erlangten, einen Altachromaten als Vorderglied und einen Neuachromaten als Hinterglied (s. Abb. S. 95). Es entstanden davon mehrere Serien, die unterschiedliche Öffnungen hatten und teilweise als Vier- oder Fünflinser ausgeführt waren. Im letzteren Fall ist der Neuachromat im Hinterglied aus 3 Linsen der Reihenfolge - sammelnd, zerstreuend, sammelnd - verkittet.

Das Beispiel des Anastigmats 1 : 8 (s. S.92. 93) ist, soweit feststellbar, ein fünflinsiges Anastigmatdublett[1]. Sein Bildwinkel ist relativ klein und beträgt nur 57°. Die Korrektion soll jedoch sehr gut gewesen sein. M. v. ROHR (110) sagt über dieses Objektiv: "Weder in der sphärischen Korrektion hinsichtlich der Größe der Zonen oder der Erfüllung der Sinusbedingung, noch in der anastigmatischen Bildebnung läßt sich mit symmetrischen Dublett-Konstruktionen wesentlich Günstigeres erreichen." Wie aus der MÜF ersichtlich ist, zeigt das Objektiv für die Brennweite von 350 mm eine ausgezeichnete Leistung. Der Zonenfehler erreicht jedoch noch erhebliche Werte,und bei den großen Öffnungen tritt bereits Scheinauflösung auf.

Neben diesen Anastigmatdubletts richtete RUDOLPH sein Augenmerk ganz auf die Verbesserung der Satzobjektive, indem er sein anastigmatisches Prinzip der gegensätzlichen Abstufung der Brechzahlen auf das Element der Sätze, die Einzellinse anwendete. Schon früher waren

---

[1] Es wurde nach Angaben der Firma Jenoptik Jena GmbH in der Zeit zwischen 1893 und 1899 gebaut.

vereinzelt solche Satzobjektive, wenn auch nur für sehr bescheidene Ansprüche, gebaut worden. RUDOLPH schuf dagegen Einzellinsen, in denen die 4 ersten Seidel'schen Fehler mit mehr oder minder großer Näherung behoben waren. Diese allein verwendbaren lichtschwächeren Landschaftsobjektive konnten zu sehr leistungsfähigen holo- oder hemisymmetrischen Satzobjektiven zusammengeschraubt werden. Von diesen zusammengesetzten Anastigmaten stammt auch die Bezeichnung Doppelanastigmat, die kennzeichnend für diese gesamte Objektivgruppe wurde. Die Glieder sind im allgemeinen aus je einem Alt- und einem Neuachromaten verkittet. Sie bestehen also aus 4 oder nur aus 3 Linsen, wenn man sich die Linsen 2 und 3 aus dem gleichen Glas gefertigt denkt. Die Objektivfassungen wurden dabei so gestaltet, daß die verschiedenen Linsen durch einfaches Einschrauben im richtigen Blendenabstand verwendet werden konnten. Diese sogenannte Normalfassung wurde 1895 von RUDOLPH eingeführt und dazu noch die Angabe des Durchmessers der Aperturblende in Millimeter, um mit geeigneten Tabellen für jede Kombination die gewünschte Blendenzahl einstellen zu können.

Diese zuletzt genannten beiden Kennzeichen weist auch das nächste gemessene Objektiv, das Protar (s.S. 94 u. 95), auf. Das Baujahr dieses Objektivs ist nach 1901 anzusetzen.

Auf Grund der Daten (Serie Nr. 2, 1 : 8 Öffnungsverhältnis) ist jedoch anzunehmen, daß es sich nicht um einen Satzanastigmaten, sondern um eine spätere Ausführung des oben beschriebenen fünflinsigen Anastigmatdubletts handelt. In der Abbildung auf S. 95 ist daher der Neuachromat des Hinterglieds aus 3 Linsen zusammengesetzt zu denken. Da jedoch, wie oben erwähnt, einige Anzeichen für ein Satzobjektiv sprechen, wurde die MÜF des Hinterglieds trotzdem gemessen (s. Abb. S. 95). Es

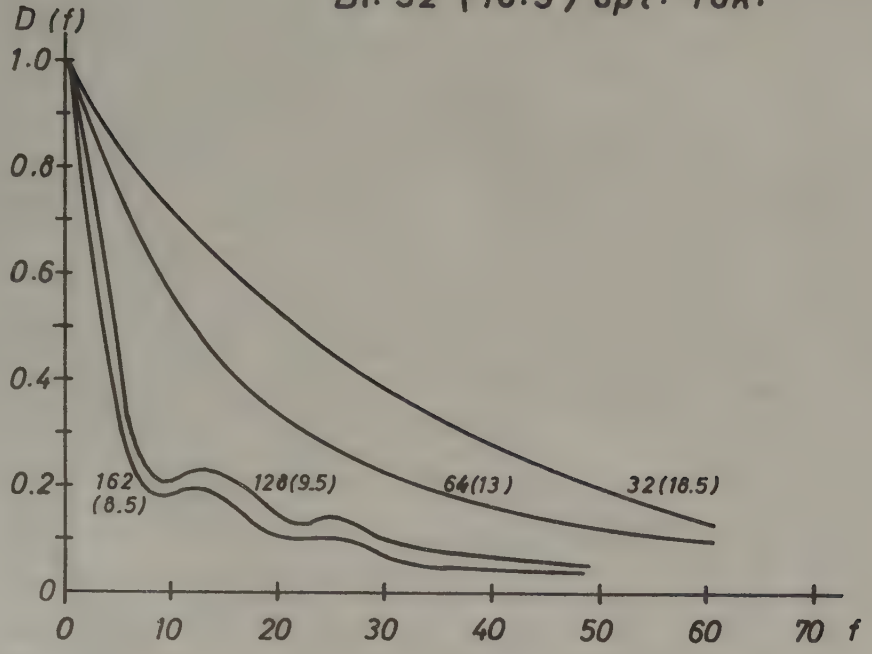
zeigte sich jedoch, daß die Brennweite des Hinterglieds sich nur wenig von der des Gesamtsystems unterscheidet. Dieses Hinterglied hat also im wesentlichen allein die Aufgabe der Sammelwirkung zu tragen, während das sehr langbrennweitige Vorderglied die Funktion eines reinen Korrekturgliedes hat. Dieser Aufbau läßt für die Hälfte nur eine unvollkommene Abbildungsleistung erwarten, was durch die MÜF sehr deutlich bestätigt wird (s. auch beim Vergleich der Satzobjektive im II. Teil S. 190). Auch dies spricht für die Zuordnung des Typs.

Die Betrachtung der MÜF des Gesamtobjektivs zeigt, daß die kritische Blende bei einer größeren Öffnung liegt als beim vorigen Objektiv, was durch die kürzere Brennweite erklärbar ist. Die Beugungseinflüsse spielen hier wegen des kleineren Durchmessers der Aperturblende schon eine stärkere Rolle. Auch bei diesem Objektiv zeigt der Zonenfehler beträchtliche Werte. In der Einführung bei der Wahl der geeigneten Meßparameter (s. S. 42) wurde bei diesem Objektiv für die maximale Abweichung der Brennpunkte ein Betrag von 0,5 bis 0,6 mm beobachtet. Er ist auch in Übereinstimmung mit Angaben M. v. ROHRs (110), der bei dem erwähnten Objektiv für den "größten Betrag, der durch die Zonen bedingten Tiefenaberration, etwa 0,68 mm" nennt. Dieser Wert wird dort noch als besonders klein bezeichnet.

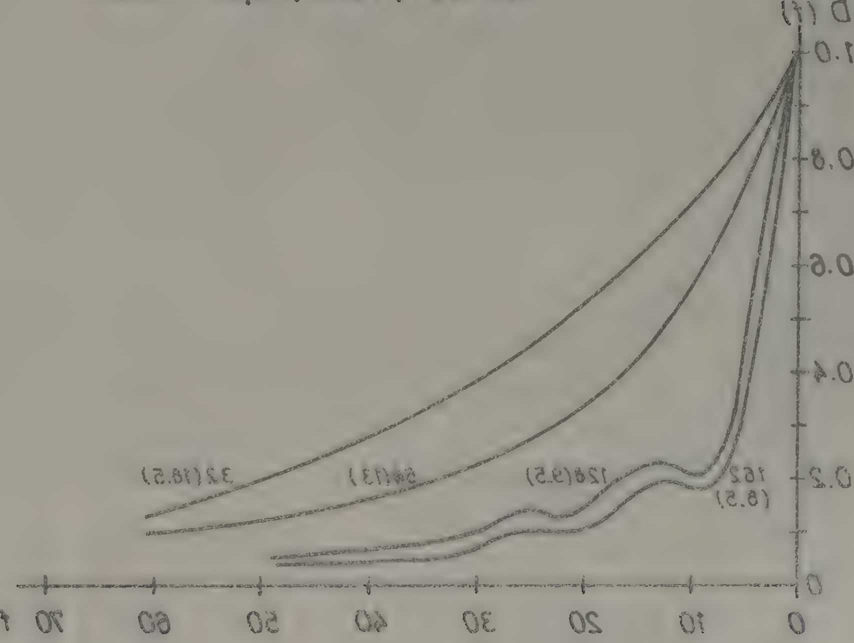
Carl Zeiss, Jena Nr. 11068 Anastigmat 1:8 f = 350mm

D.R.P. 56109 [Abb. Verh. 6.5 :1]

Bl. 32 (18.5) opt. fok.



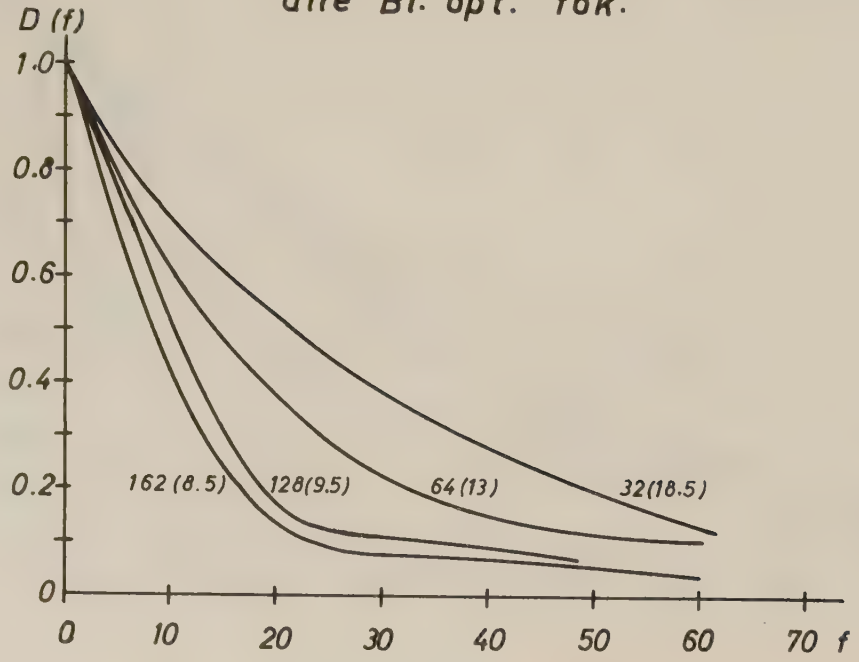
Carl Zeiss, Jena Nr. 11068 Anastigmat 1:8 f = 350mm
D.R.P. 56109 [Abb. Verh. 6.5 : 1]
Bl. 32 (18.5) opt. fok.



Carl Zeiss, Jena Nr. 11068 Anastigmat 1:8 f = 350 mm

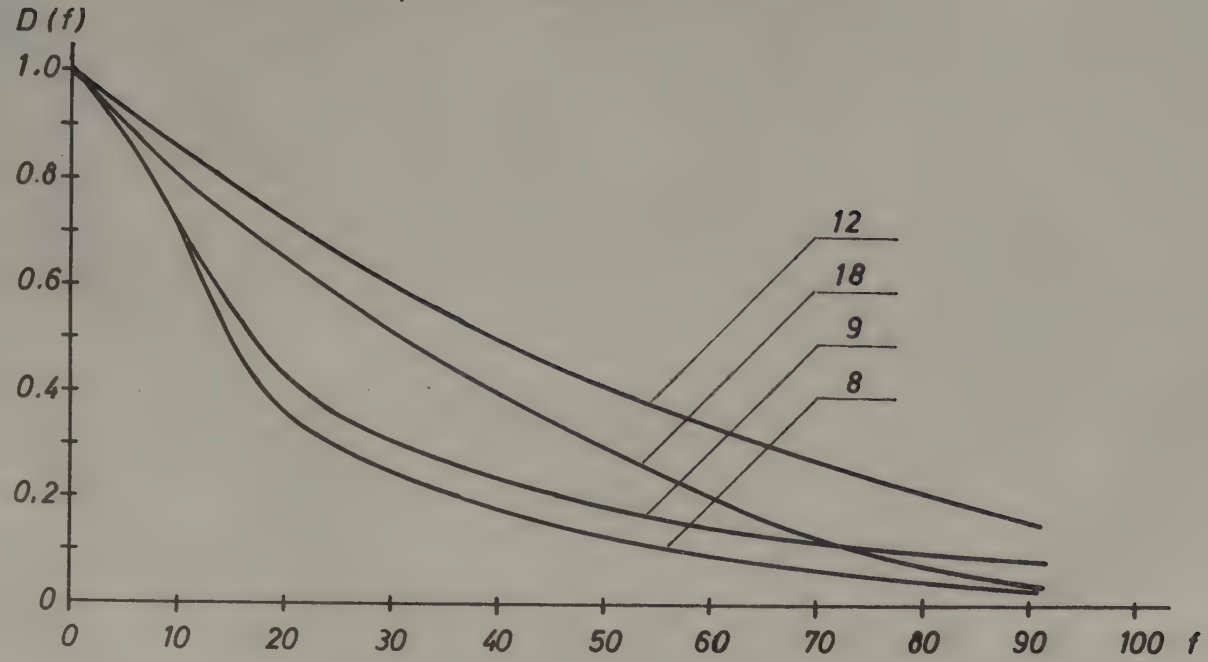
D.R.P. 56109 [Abb. Verh. 6.5 : 1]

alle Bl. opt. fok.



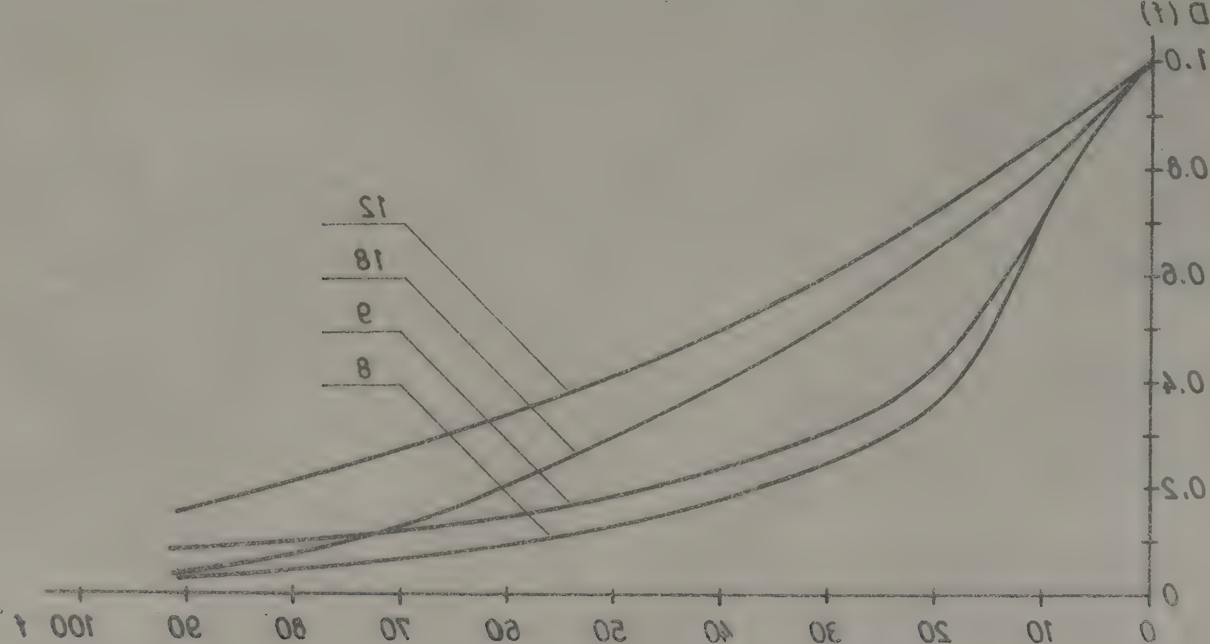
Carl Zeiss, Jena Nr. 56397 Protar 1:8 f = 136 mm

Bl. 12 opt. fok.



Carl Zeiss, Jena Nr. 56397 Protar 1:8 f = 136 mm

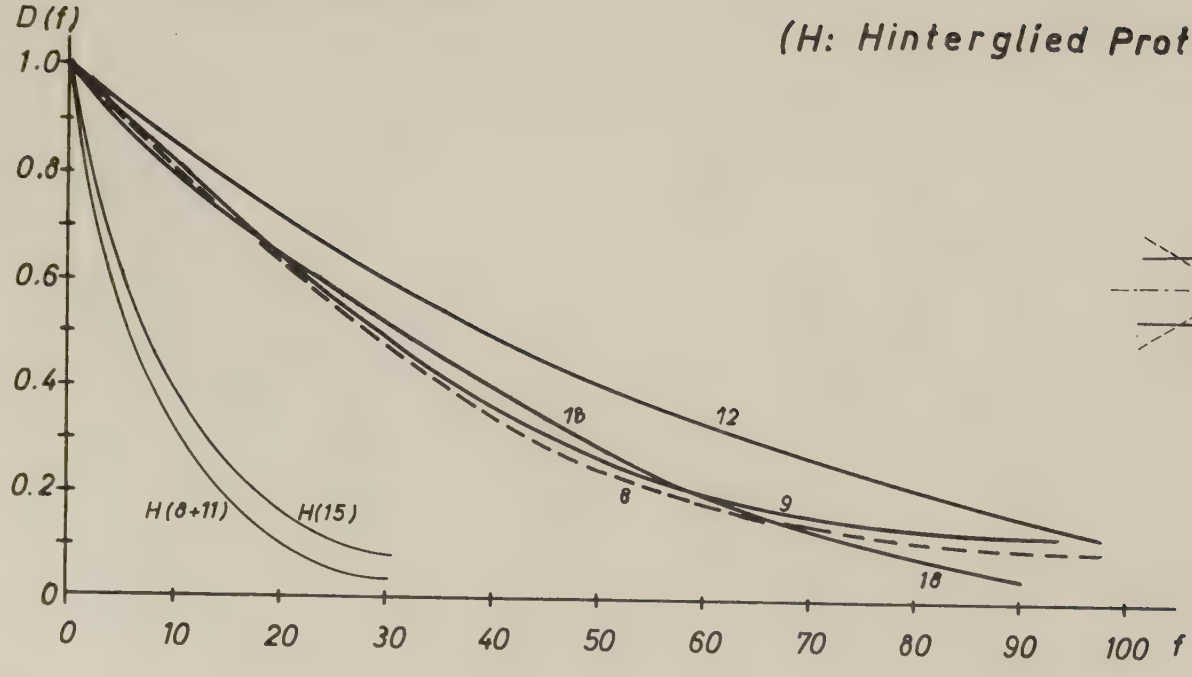
Bl.12 opt. fok.

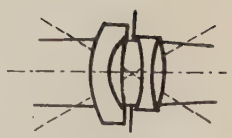


Carl Zeiss, Jena Nr. 56397 Protar 1:8 f=136 mm

alle Bl. opt. fok.

(H: Hinterglied Protar (f=15 cm)





95

DAS DAGOR VON C.P. GOERZ

Im Gegensatz zu den Bemühungen RUDOLPHs, das Glied möglichst gut zu korrigieren, das heißt auch in den Einzelsystemen die Koma in erster Näherung zu beseitigen und den Astigmatismus zu reduzieren, geht E. v. HOEGH davon aus, ein optimal korrigiertes Gesamtsystem zu erhalten. Im Jahre 1892 brachte er ein Patent ein (Nr. 74437), in dem der Bau eines symmetrischen Doppelobjektivs von ihm angegeben wird, dessen aus 3 Linsen verkittete Einzelbestandteile für sich sphärisch, chromatisch und astigmatisch korrigiert sind. Die beiden ersten Linsen des Vorderg liedes und entsprechend die beiden letzten Linsen des Hintergliedes stellen einen Neuachromaten mit sammelnder Kittfläche, die zweite und dritte des Vordergliedes und entsprechend die erste unendliche Linse des Hintergliedes je einen Altachromaten mit zerstreuender Kittfläche in der Art der GRUBB-Linse dar (s. auch Abb. S. 101). Die Brechzahlen nehmen von Linse zu Linse in jedem der beiden Glieder, von der Blende aus gezählt, zu.

Dieser Bau des Einzelgliedes entspricht genau einer Form der damals noch nicht veröffentlichten Satzlinse von RUDOLPH. Es kam deshalb zu einem Streit zwischen ZEISS und der Fa. C.P. GOERZ, die diesen Doppelanastigmaten unter dem Namen Dagor erfolgreich auf dem Markt einführte.

Da man zur damaligen Zeit reflexmindernde Beläge auf den Linsen noch nicht kannte, versuchte man die Anzahl der Glasluftflächen so gering wie möglich zu halten, um das Bild so möglichst klar und kontrastreich zu gestalten. Im Dagor kommt man mit 4 solchen Flächen aus. Der Vorteil dieses Objektives ist schon daran zu erkennen, daß bis zur Blende 31 gemessen werden konnte, während dies bei den meisten anderen Objektiven aus Intensitätsgründen nicht möglich war.

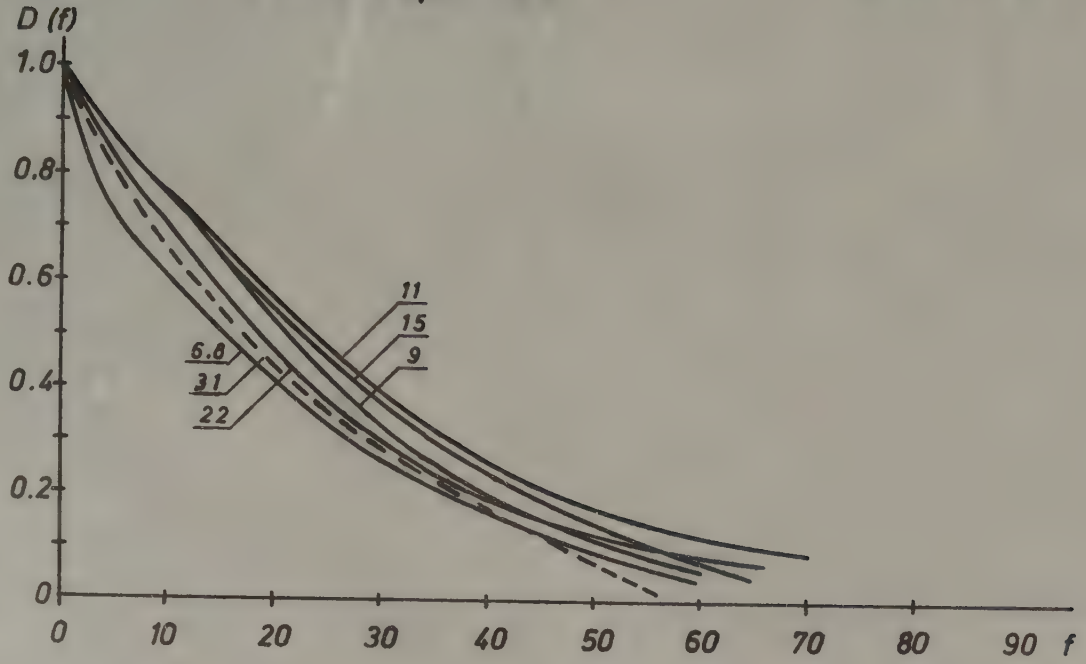
Das Objektiv wurde bis 1901 mit dem Öffnungsverhältnis 1 : 7,7 und von da ab mit 1 : 6,8 für kleinere Brennweiten gebaut. Für größere Brennweiten war das Öffnungsverhältnis kleiner, da bei proportionaler Vergrößerung der Objektivkonstanten eine Herabsetzung der Zonenfehler notwendig wird. Der Bildwinkel beträgt 70° und steigt bei Abblendung auf 90 - 100°, so daß das Dagor auch als Weitwinkel verwendet werden konnte. Bereits bei seinem Erscheinen hatte das Dagor einen sehr guten Korrektionszustand. Die streng symmetrische Anordnung behob Koma und Verzeichnung, so daß die Koma der Einzelglieder nicht so weitgehend behoben werden mußte wie in der Satzlinse von RUDOLPH. Aus diesem Grunde war das Hinterglied des Dagors allerdings zur alleinigen Verwendung weniger geeignet. In der Literatur werden ihm zusätzlich größere Reste der sphärischen Aberration bescheinigt. Die Folge war ein - verglichen mit späteren Typen - begrenztes Öffnungsverhältnis und eine leichte, angenehme Weichheit bei großer Öffnung. Bei der Abblendung stieg die Schärfe jedoch rasch an,und bei kleinen Blenden wurde es an Schärfe und Brillanz von vielen neueren Objektiven nicht erreicht. Deshalb war es bei den Fachphotographen sehr geschätzt. Seine geringe Lichtstärke und der durch die 6 Linsen bedingte hohe Preis hinderte seine Verbreitung bei den Amateuren.
Wie aus dem Öffnungsverhältnis ersichtlich ist, handelt es sich bei dem gemessenen Exemplar (s. S. 99 - 101) um ein späteres, also nach 1901 gebautes. Die Betrachtung der MÜF bestätigt in etwa die oben zitierten Aussagen über das Dagor. Bei optimaler Fokusierung von Blende 6,8 zeigen alle Blendenstellungen eine sehr ähnliche MÜF (s. S. 99). Sie fällt bei hohen Frequenzen rasch ab, das Objektiv zeigt demnach einen gewissen Weichzeichnereffekt. Bei optimaler Fokusierung (s. S. 101) nimmt die Leistungsfähigkeit mit abnehmender Öffnung rasch zu. Der Zonenfehler ist noch recht aus-

geprägt. Dagegen liefert das Hinterglied (s. S. 101), entgegen den Erwartungen und trotz seiner langen Brennweite, in der Achse eine erstaunlich gute MÜF, so daß es durchaus als Schmalwinkel für dieselbe Kamera (falls deren Auszug lang genug ist) hätte verwendet werden können.

Die Weiterentwicklung des Dagors führte zu einer Abspaltung der mittleren Linse, indem die zerstreuende Kittfläche durch eine dünne Luftlinse ersetzt wurde. Dies ergab eine weitere Korrektionsmöglichkeit. Dadurch gelang es auch, die Koma in jeder Hälfte vollständig zu korrigieren, so daß dieser GOERZ-Doppelanastigmat (DRP 107358 von 1899) als erfolgreicher Konkurrent des ZEISS'schen Satzanastigmats anzusehen ist. Ein solches Objektiv stand leider für Messungen nicht zur Verfügung.

C.P. Goerz Berlin Doppelanastigmat Serie III Dagor f=180mm

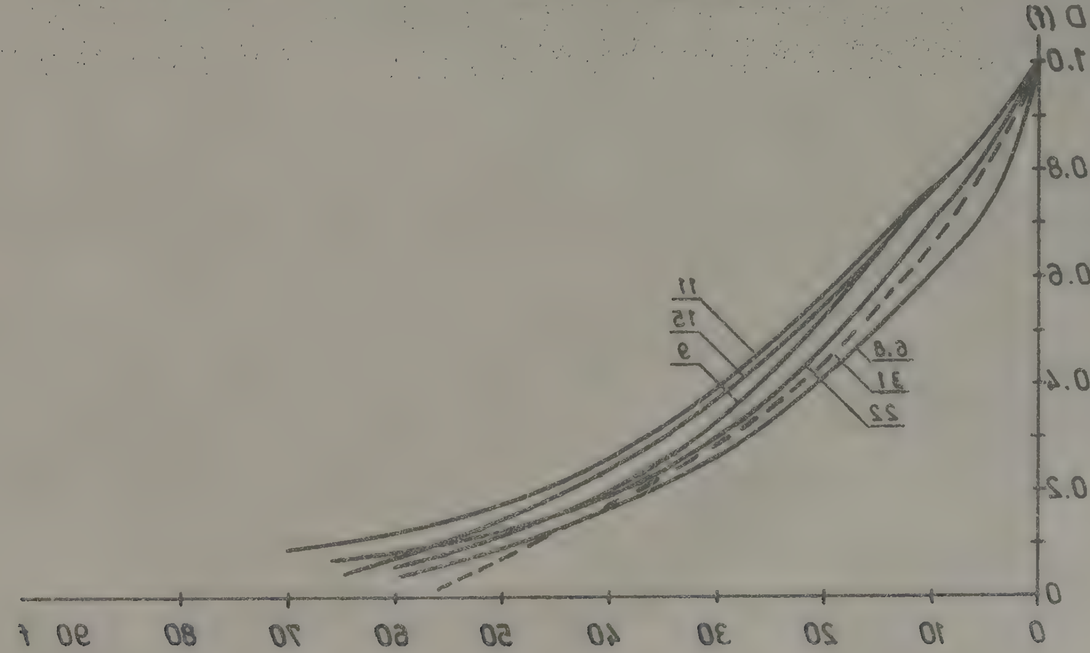
Bl. 6.8 opt. fok. Nr. 239943 1 : 6.8 Patent



C.P. Goerz Berlin Doppelanastigmat Serie III Dagor f=180mm

Nr. 239943 1:6.8 Patent

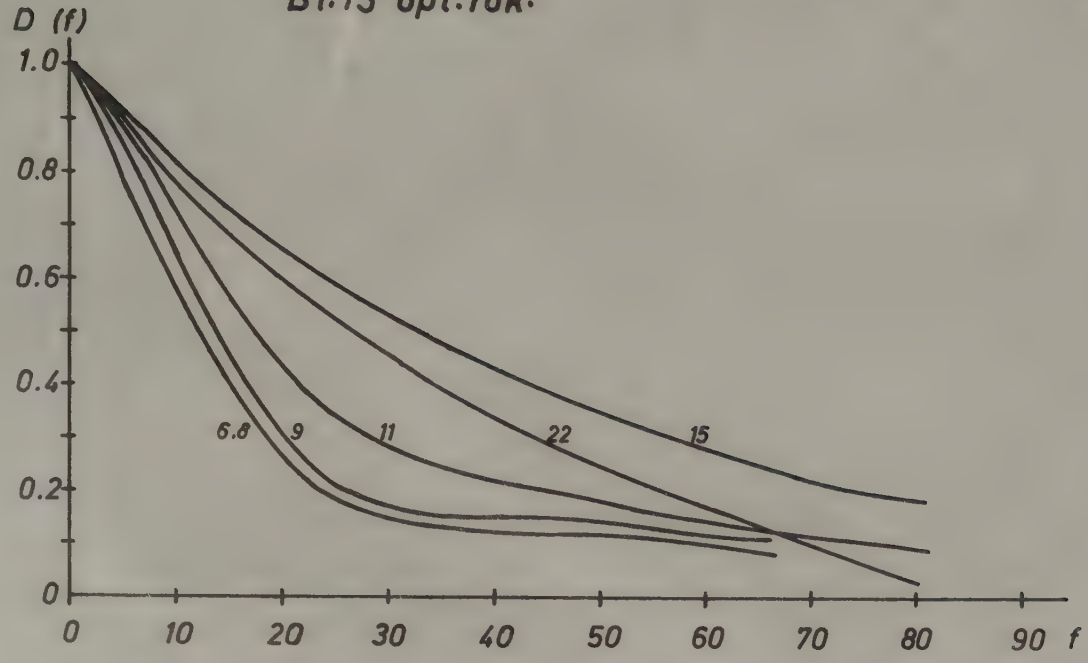
Bl. 6.8 opt. fok.



C.P. Goerz Berlin Doppelanastigmat Nr.239943 Serie III Dagor

f = 180 mm 1:6.8 Patent

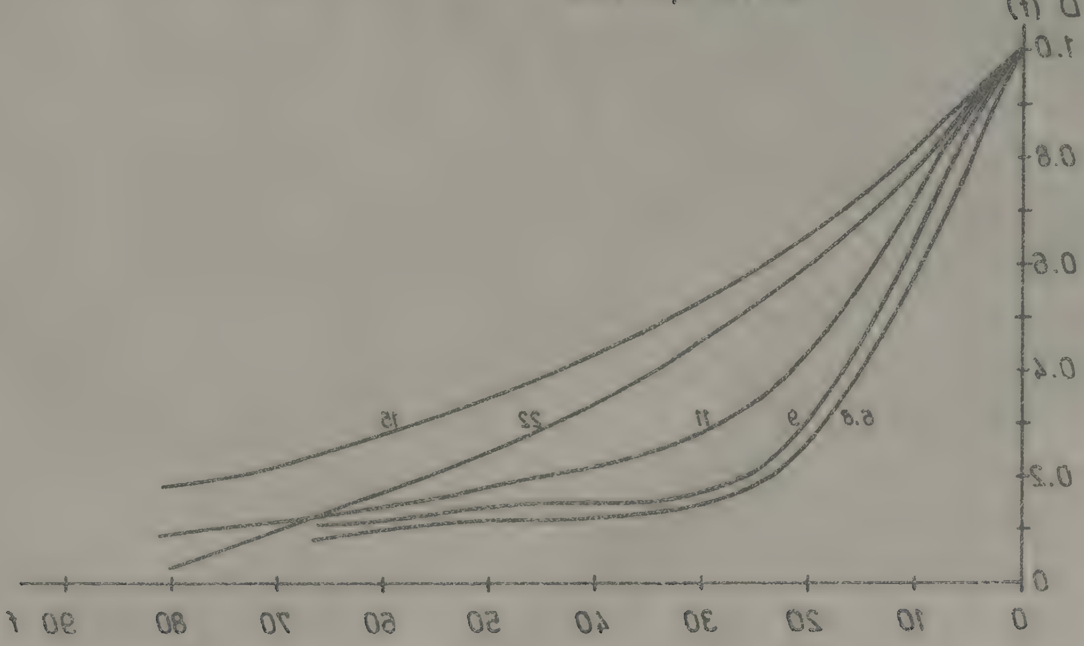
Bl.15 opt.fok.



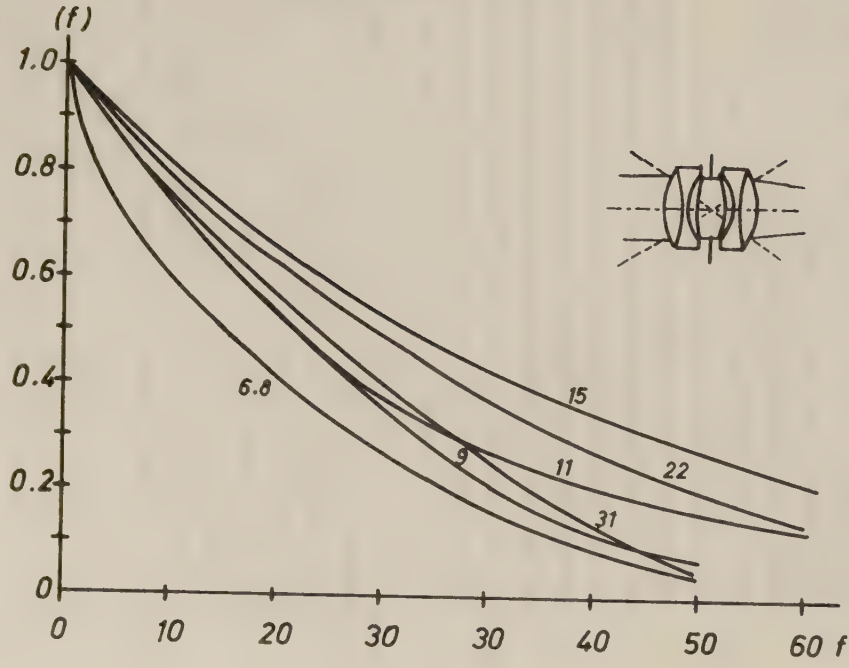
C.P. Goerz Berlin Doppelanastigmat Nr.239943 Serie III <u>Dagor</u>

f=180 mm 1:6.8 Patent

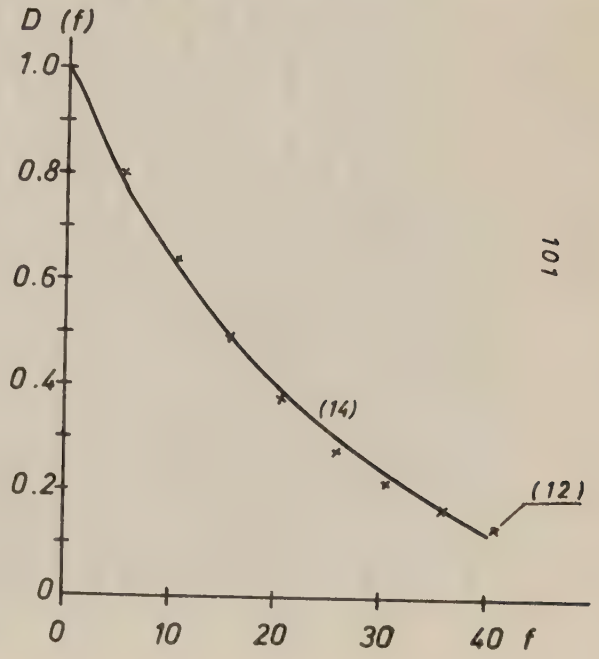
Bl.15 opt.fok.



C.P. Goerz Berlin Doppel-Anastigmat Nr.239943
Serie III Dagor f=180mm 1:6,8 Patent
alle Bl. opt. fok.



Hinterglied Dagor (f=31cm)



DER ORTHOSTIGMAT VON STEINHEIL

Durch das Erscheinen der bisher besprochenen Objektive mit anastigmatischer Bildfeldebnung sahen sich die anderen Firmen zu größten Anstrengungen angespornt, um weiterhin konkurrenzfähig bleiben zu können. So wurde im Jahre 1893 gleichzeitig, unabhängig von D. KAEMPFER und H. SCHEFFLER, bei VOIGTLÄNDER das Collinear und von Vater und Sohn R. und A. STEINHEIL der Orthostigmat herausgebracht. Die Publikation dieses Typs, mit dem STEINHEIL die Aplanate zu anastigmatischer Bildfeldebnung bringen wollte, wurde durch Einspruch von C.P. GOERZ lange verzögert; doch gelang es schließlich, den Orthostigmat Typus II durch das Patent 88505 schützen zu lassen. Auch zwischen den Firmen C.A. STEINHEIL Söhne und VOIGTLÄNDER und Sohn kam es zu einer Einigung über das gemeinsame Ausführungsrecht des symmetrisch ausgebauten Doppelanastigmaten (s.Abb. S. 105).

Das Korrektionsprinzip ist das gleiche wie beim Dagor. Im Gegensatz zu diesem war hier die Reihenfolge der beiden ersten Linsen (Hinterglied) jedoch vertauscht, so daß der Altachromat die Anordnung wie in der Chevalier'schen Linse hat. Man kann damit den Öffnungsfehler kleiner halten als beim Dagor und einen besonders kleinen Zonenfehler erreichen. Vom Orthostigmat Typus II wurden mehrere Serien mit 1 : 6,8, 1 : 10 und später auch 1 : 8 gefertigt. Der Bildwinkel betrug 56°.

Entgegen den Beschreibungen zeigt jedoch das gemessene Objektiv Orthostigmat Typus II (s. S. 104, 105) einen sehr starken Zonenfehler. Die größten Öffnungen ergeben nur eine unbefriedigende Abbildungsleistung. Da auch das Hinterglied allein verwendet worden sein soll, wurde dessen MÜF ebenfalls gemessen (s. S. 105). Dieses Objektiv wurde am 27.5.1898 nach St. Petersburg in Rußland verkauft. Wenn es auf den langen und unbekannten

Wegen, die es wieder zurück nach München und in das Deutsche Museum geführt haben, einigen äußerlich nicht sichtbaren Schaden erlitten hat, wäre das eigentlich nicht verwunderlich.

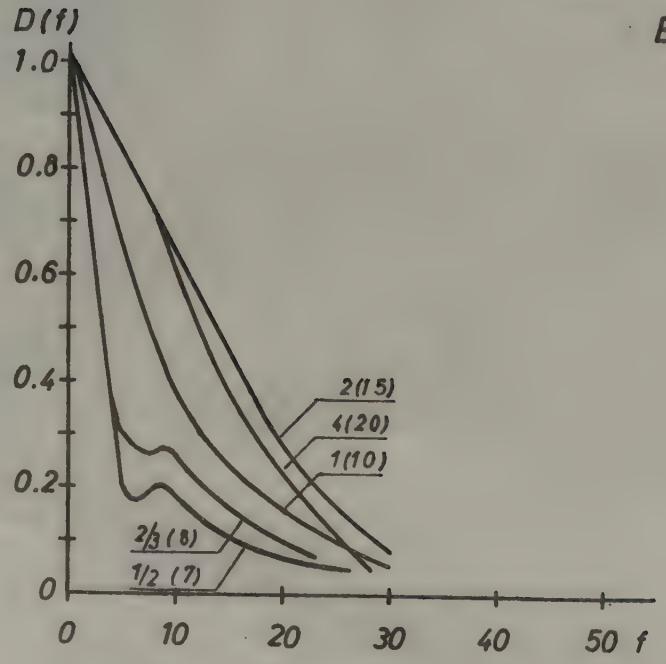
Inwieweit gegenüber den ersten Typen einer Serie wesentliche Verbesserungen erreicht werden können - vielleicht auch nur der Einfluß schonungsvoller Behandlung - zeigt das zweite Beispiel des Orthostigmat (s. S.106, 107), das am 5.5.1906 die Fabrik verlassen hat und direkt ins Deutsche Museum gekommen ist.
Veränderungen der Linsendicke, sowie Änderungen des Linsenabstands ergeben eine sehr gute Korrektion. Auch der Zonenfehler tritt nur noch sehr gemäßigt in Erscheinung. Zu beachten ist auch, daß die kritische Blende bei einer viel größeren Öffnung liegt.
Da die Einführung des Satzobjektivs wegen der stark abfallenden Leistung der Einzelglieder gegenüber der Gesamtleistung der neueren Systeme sich mit Recht nicht ganz durchsetzen konnte (s. auch S.190), wurde eine derartige Verwendung bei den neueren Objektiven nicht mehr vorgesehen. Wenn man heute Satzobjektive baut, so geschieht das in anderer Form: es wird das Vorderglied gegen ein anderes ausgetauscht, das zwar die gleiche Korrektion wie das ursprüngliche, aber eine andere Brennweite hat (s. z.B. beim Heligon S.179).

Aus diesem Typ des Doppelanastigmaten ist eine Anzahl von 8-linsigen Objektiven entstanden, die alle eine Verbindung von Alt- und Neuachromaten sind; sie waren den 6-linsigen in der Leistung nicht überlegen, jedoch schwieriger herzustellen und hatten wegen ihrer großen Dicke eine beachtliche Absorption. Deshalb konnten sie sich nicht durchsetzen.

Steinheil in München Nr. 44505

Orthostigmat Typus II 1:6.8 Nr. 5 f = 18 cm

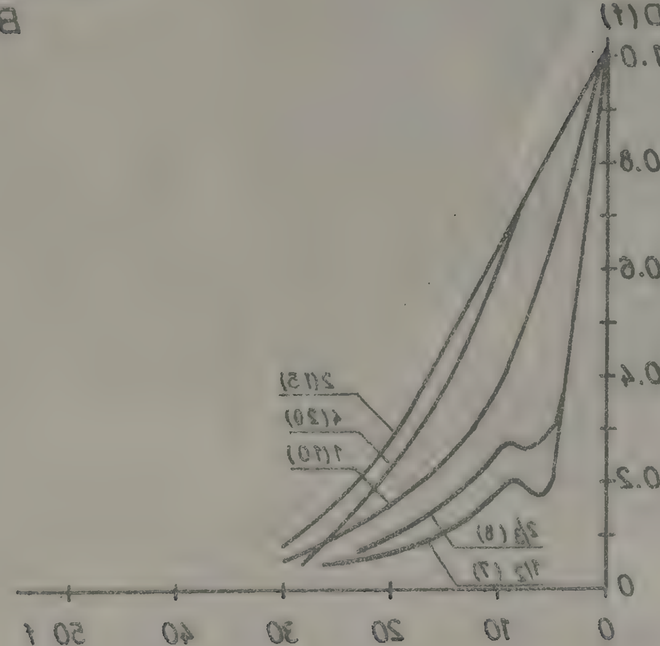
Bl. (10) opt. fok.



Steinheil in München Nr.44505

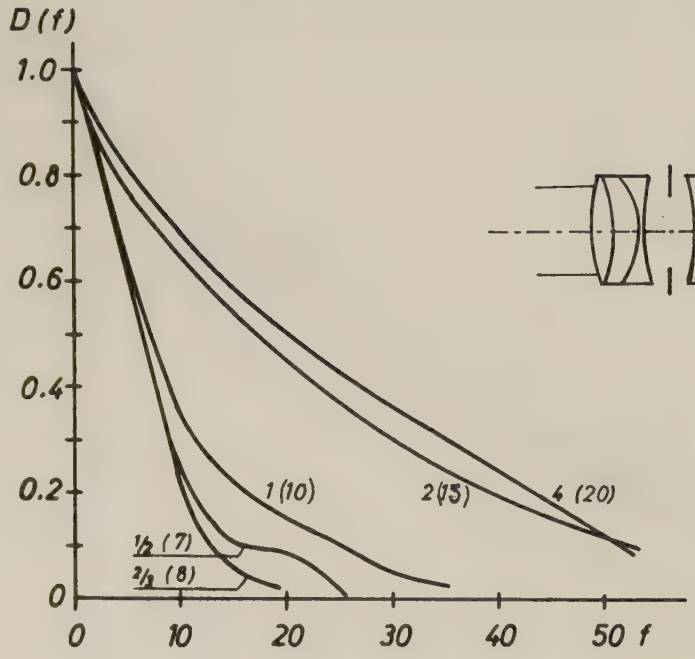
Orthostigmat Typus II 1:6.8 Nr.5 f=18cm

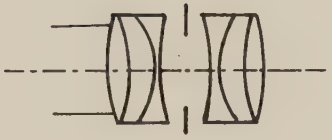
Bl.(10)opt.fok.



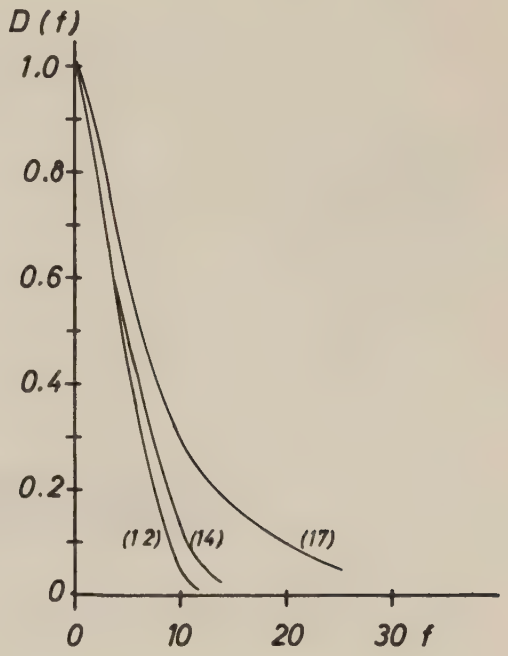
Steinheil in München Nr.44505
Orthostigmat Typus II 1:6.8 Nr.5 f=18cm

alle Bl. opt. fok.



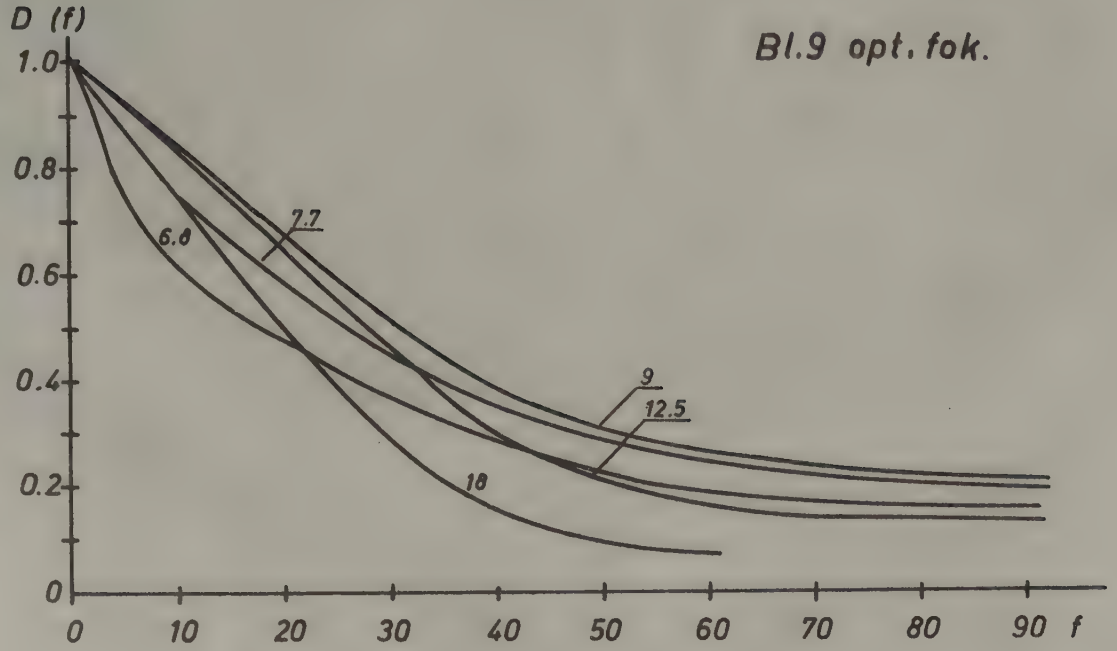


Hinterglied Orthostigmat
Typus II (f=31cm)



Steinheil in München Nr. 62601
Orthostigmat f:6.8 f=150 mm

Bl.9 opt. fok.

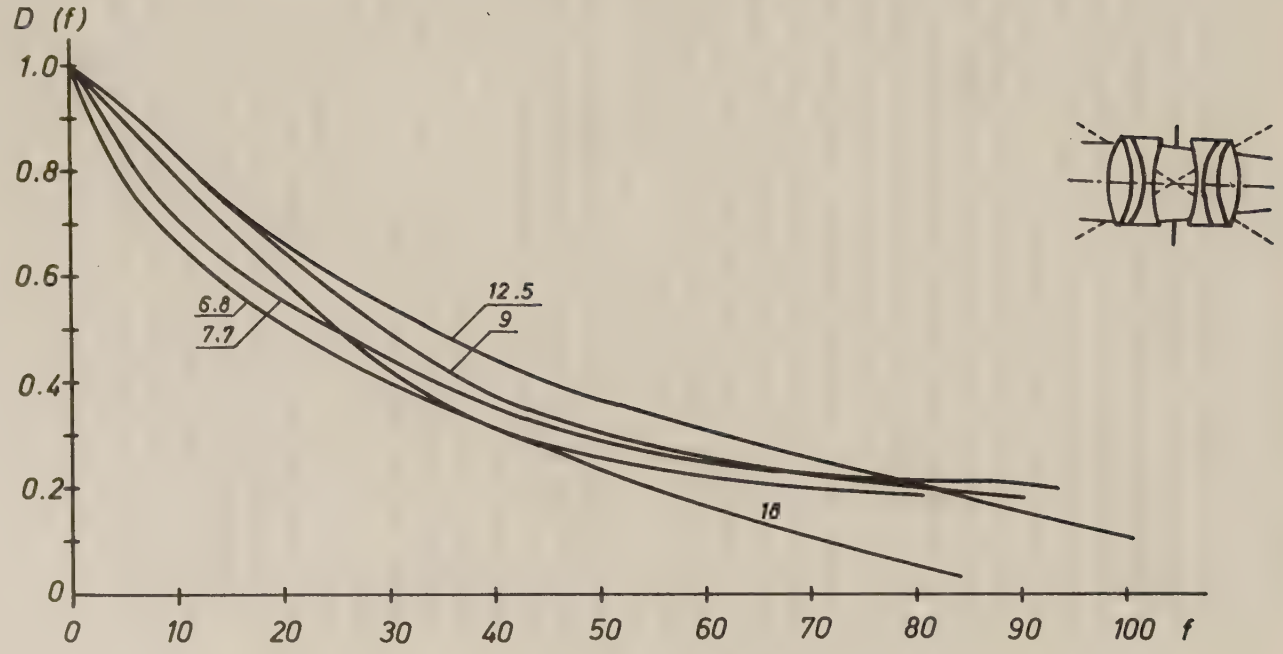


Steinheil in München Nr. 62601
Orthostigmat 1:6.8 f=150mm

Bl.3 opt. tok.

Steinheil in München Nr.62601 Orthostigmat f:6.8 f=150mm

alle Bl. opt. fok.



DAS CELOR (SYNTOR) VON C.P. GOERZ

Wie bereits beim Dagor ausgeführt wurde, waren bei den bisher behandelten Doppelanastigmaten die Linsen in den einzelnen Gliedern verkittet. Dies geschah, um Reflexe an den Glasluftflächen zu vermeiden und so ein klareres, kontrastreicheres Bild zu erhalten.
Verzichtet man auf die Verkittung, so erweitert man die Korrektionsmöglichkeit erheblich. Man kann mit weniger Linsen auskommen und zudem die Leistung des Systems steigern. So geschah es 1889 in einem von HOEGH angegebenen, unter der Nummer 109283 patentierten Doppelanastigmaten (s. Abb. S. 114). Man kann sich diesen aus dem Orthostigmat hervorgegangen denken, indem dort der sammelnde Meniskus, dessen Brechwert kleiner als der der Nachbarlinsen ist, durch eine Linse mit dem Brechtwert 1, also eine Luftlinse, ersetzt wird. Diese Luftlinse in der Form einer Sammellinse wirkt zerstreuend. Man erhält so eine Art Neuachromat. Das Gesamtobjektiv besteht jetzt aus 4 Einzellinsen und 8 Glasluftflächen. Die Linsen können in geeigneter Weise so durchgebogen werden, daß die sammelnde Wirkung auf die beiden Flächen der Sammellinse möglichst gleichmäßig verteilt wird. Hierdurch kann man die Sphäre besser korrigieren und das Öffnungsverhältnis vergrößern, was bei den gewöhnlichen Neuachromaten unmöglich war. Diese Objektive wurden ab 1900 bei GOERZ gefertigt, das lichtstärkere mit 1 : 4,5 kam unter dem Namen Celor, das lichtschwächere mit 1 : 6,8 unter dem Namen Syntor auf den Markt. Die anastigmatische Bildfeldebnung erstreckte sich über einen großen Bildwinkel von 61°. Verglichen mit der Orthostigmathälfte hatte die Syntorhälfte erhebliches Koma. Das streng symmetrische Syntor-Doppelobjektiv war deshalb für die Abbildung unendlich entfernter Objekte weniger geeignet, da sich hier die Koma nicht

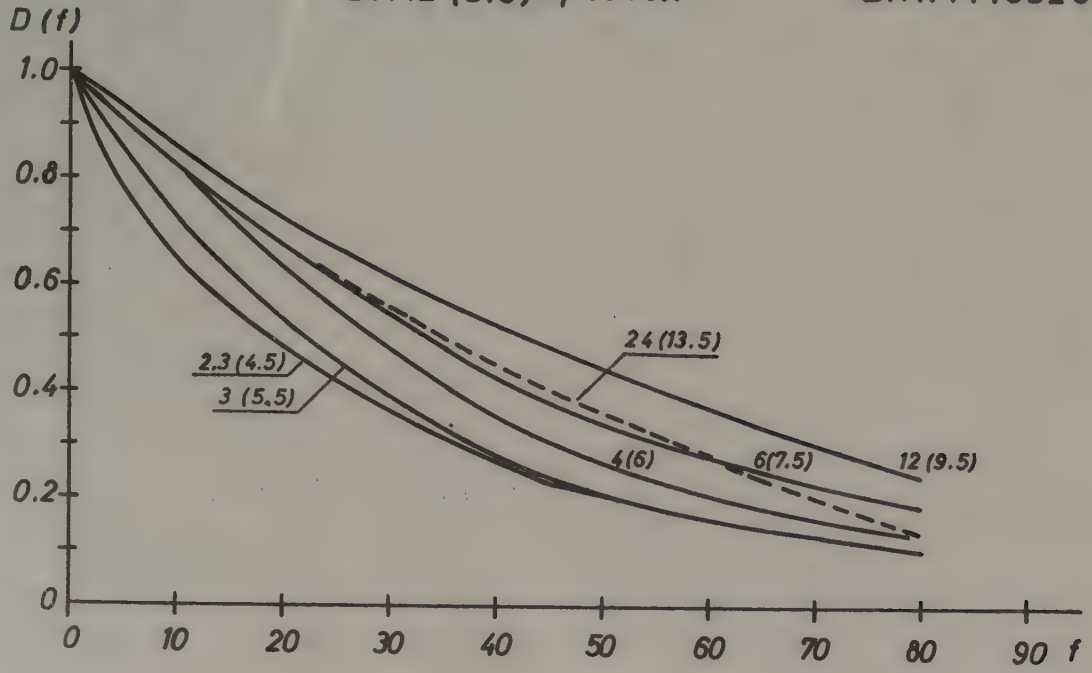
wie bei der 1 : 1 Abbildung heraushebt (s. S. 58). Es ist leider nicht möglich, bei dem 2-linsigen unverkitteten Syntortyp auch die Koma zu korrigieren, wenn Astigmatismus und Bildfeldebnung behoben werden. Besonders störend wird dieser Fehler bei großen Öffnungen, die jedoch bei dem verkitteten Doppelanastigmaten erst viel später mit neuen,stark brechenden Gläsern erreicht wurden.

Gemessen wurde ein Doppelanastigmat Typ B. Serie I B Nr. 1, der auf Grund der Patentnummer und seines Öffnungsverhältnisses von 1 : 4,5 als Celor identifiziert wurde. Die MÜF des Objektivs (s. S.110, 111) zeigt bereits für die großen Öffnungen einen guten Kontrast und nur sehr geringe Zonenfehler. Eine spezielle Verwendung des Hinterglieds allein wird nicht berichtet. Trotzdem lieferte es, nach der MÜF zu urteilen (s. S. 112), in stark abgeblendetem Zustand ein ordentliches Bild im achsnahen Bereich.

Das zweite gemessene Objektiv war ein Syntor. Die MÜF ähneln stark denen des Celors (s. S. 113, 114), nur ist hier der Zonenfehler etwas stärker als bei diesem.

C.P. Goerz, Berlin Nr. 119368 Doppelanastigmat Typ B f=150 mm Celor

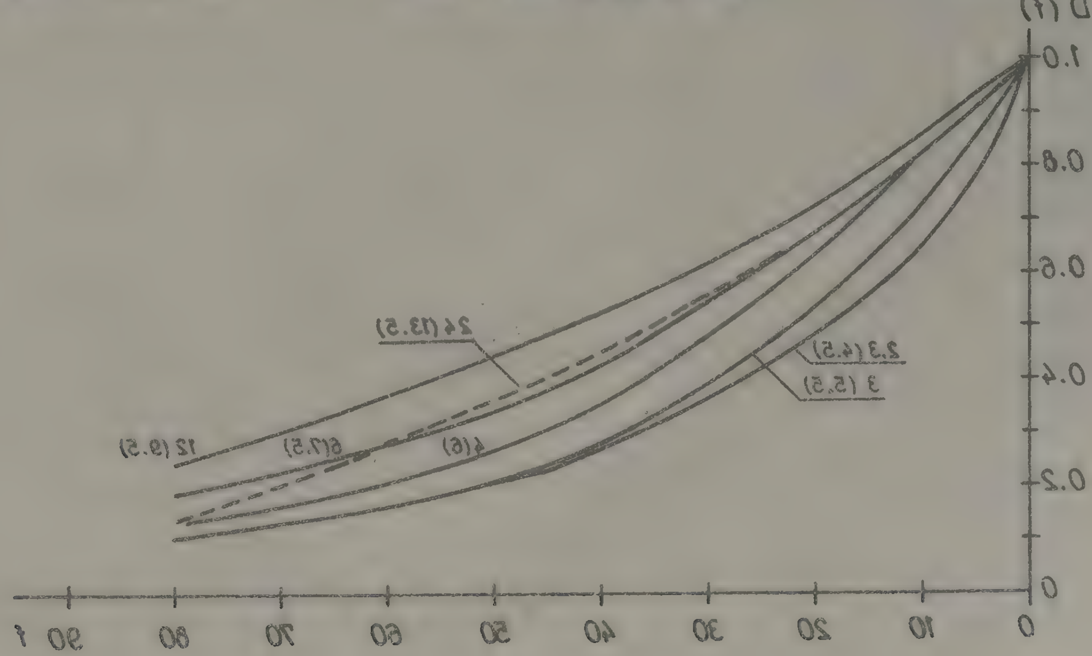
Bl. 12 (9.5) opt. fok. D.R.P. 109283 Serie I B Nr. 1



C.P. Goerz, Berlin Nr. 119368 Doppelanastigmat Typ B f=150mm

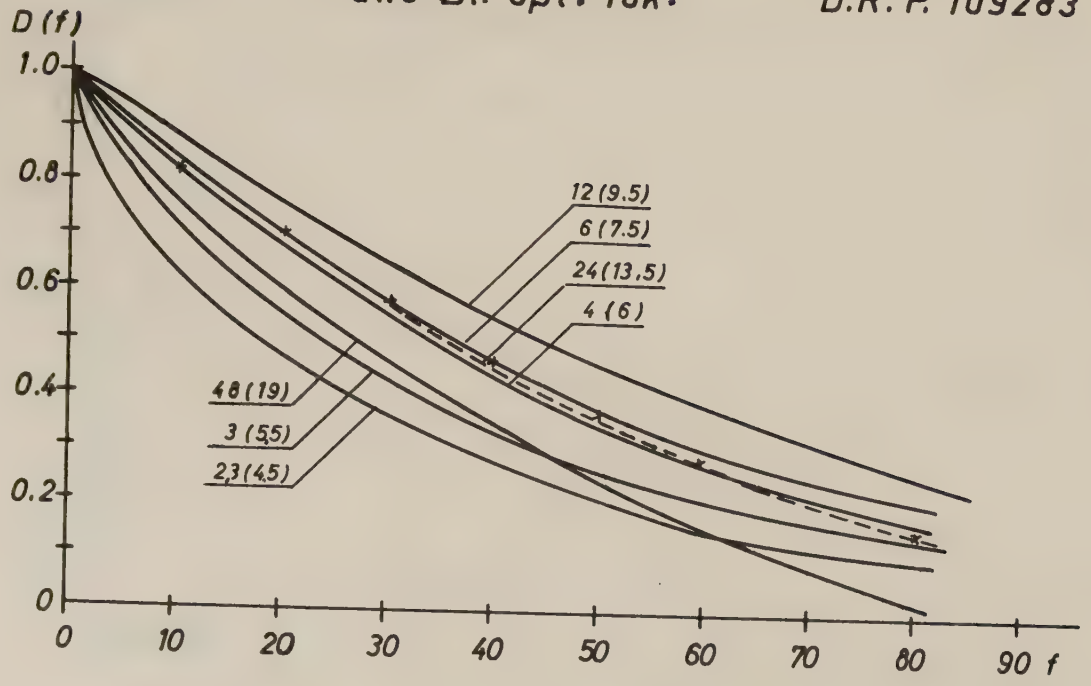
Celor

Bl. 12 (9.5) opt. fok. D.R.P. 109283 Serie I B Nr. 1



C.P. Goerz, Berlin Nr. 119368 Doppelanastigmat Typ B f = 150 mm
Celor

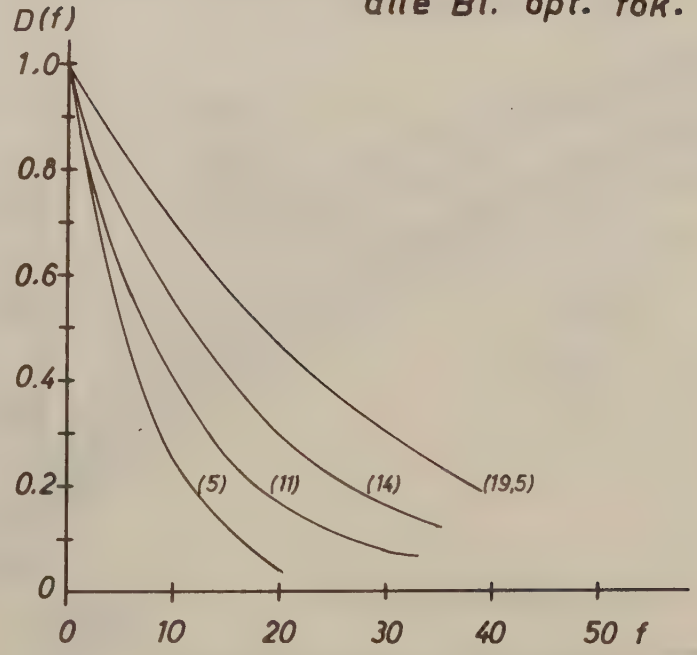
alle Bl. opt. fok. D.R.P. 109283 Serie I B Nr. 1



C. P. Goerz, Berlin Nr. 119368 **Doppelanastigmat Typ B**

Celor

alle Bl. opt. fok. D.R.P. 109283 Serie I B Nr. 1

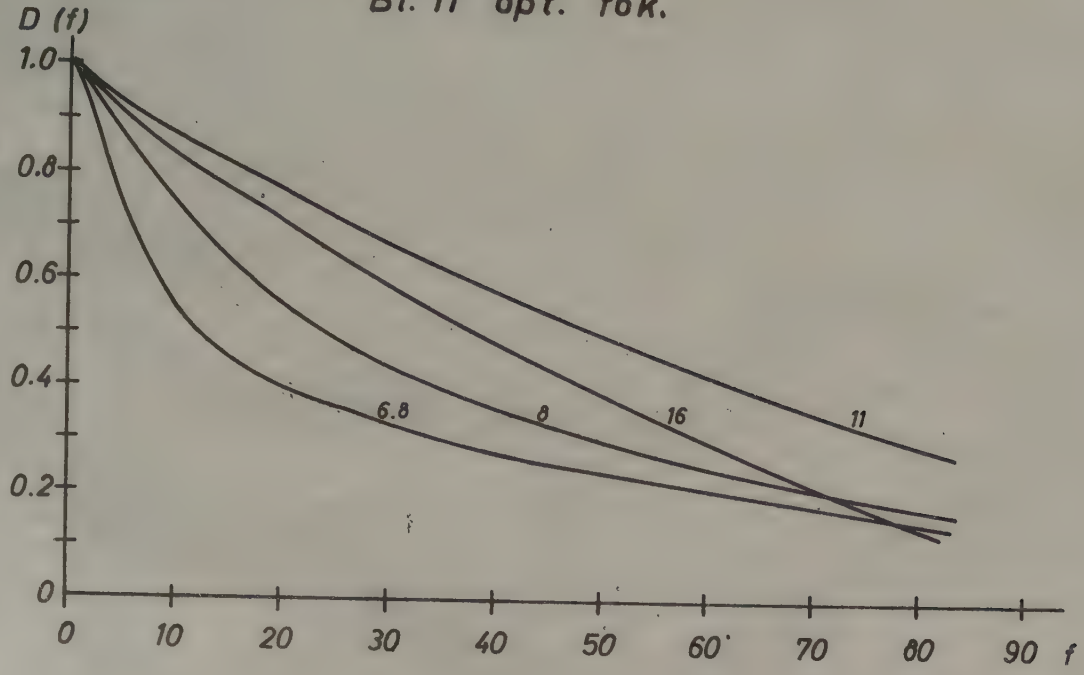


Hinterglied (f = 28cm)

C. P. Goerz, Berlin Nr. 260296 Doppelanastigmat Serie I D

Syntor 1:6.8 f = 150 mm

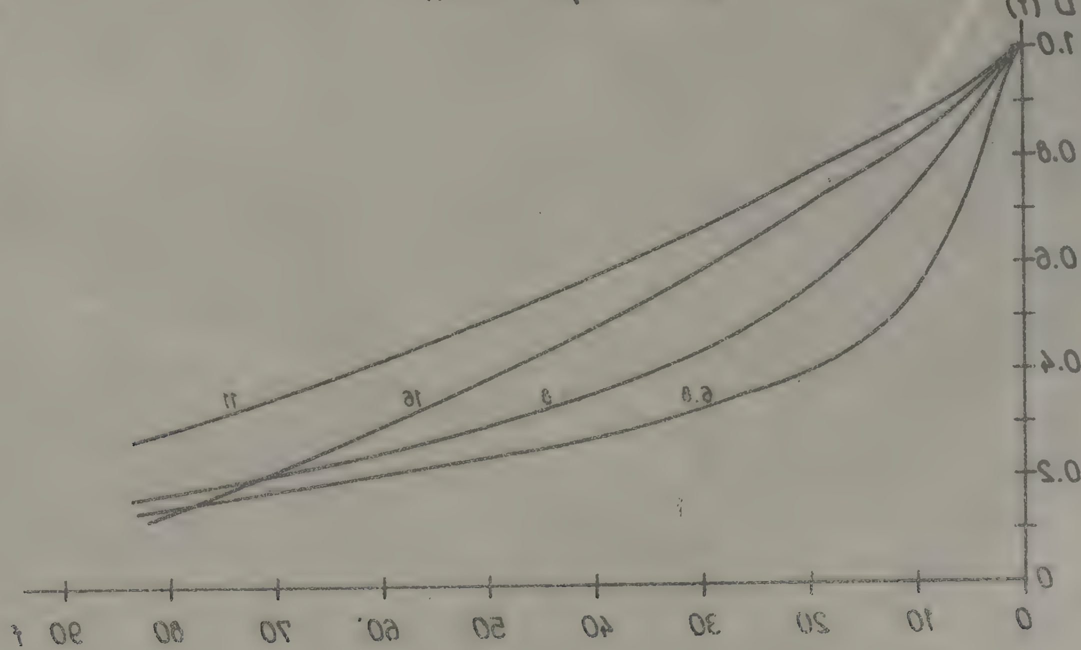
Bl. 11 opt. fok.



C.P. Goerz, Berlin Nr.260296 Doppelanastigmat Serie I D

Syntor 1:6.8 f=150mm

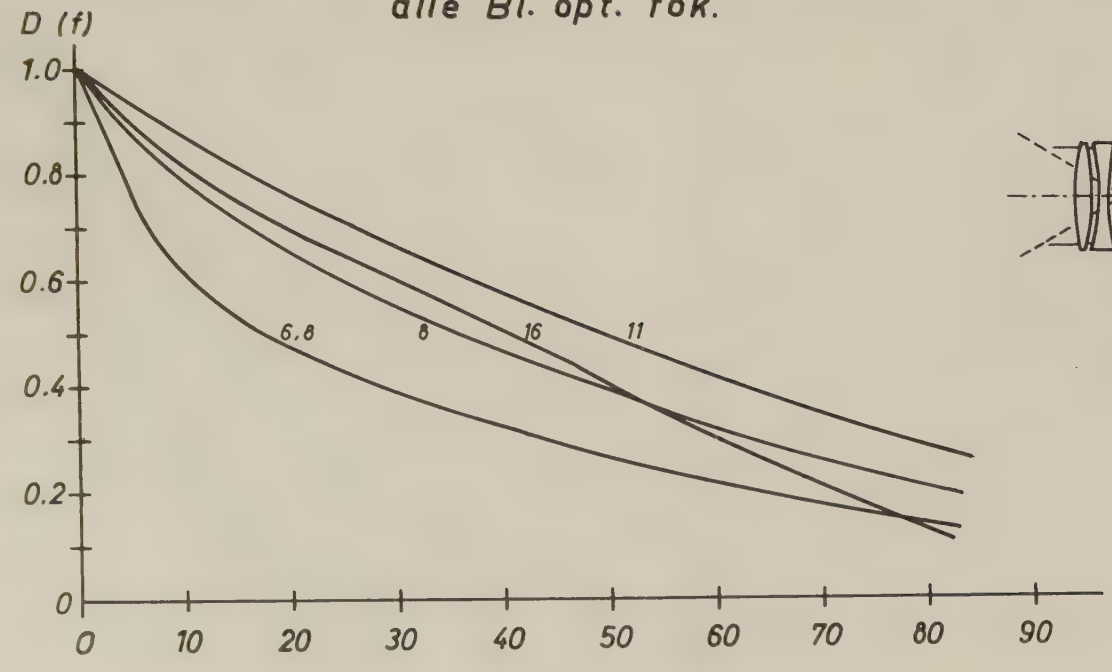
Bl. 11 opt. fok.

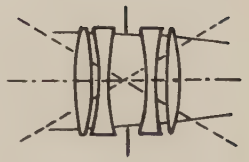


C. P. Goerz, Berlin Nr. 260296 Doppelanastigmat Serie ID

Syntor 1:6.8 f = 150 mm

alle Bl. opt. fok.





DAS EURYNAR VON RODENSTOCK

Auch andere Firmen brachten derartige unverkittete Doppelanastigmate auf den Markt, so z.B. RODENSTOCK das Eurynar (s. Abb. S. 117). Die geringe Zahl der Linsen und ihre schwache Durchbiegung ließ eine preiswerte Herstellung zu. Hinsichtlich der Korrektionsmöglichkeiten und der Abhängigkeit der Leistung von Bildwinkel, Lichtstärke und Auflösungsvermögen konkurrierte es gegen die 4-linsigen Triplets vom Tessar-Typ (s. Abb. S. 139). Es konnte sich jedoch zahlenmäßig gegen diese nie durchsetzen. Eine Ursache mag zumindest bis zur Einführung der Antireflexbeläge die zusätzliche freistehende Linse gewesen sein, die den Bildkontrast herabsetzte. Das Eurynar wurde besonders in großformatigen Kameras, auch als Weitwinkel mittlerer Lichtstärke, verwendet. Die völlige Symmetrie der beiden Teilglieder war hier bereits teilweise wieder aufgehoben, wohl wegen der Koma und der Verwendungsmöglichkeit als Satzobjektiv mit Gliedern unterschiedlicher Brennweite. Zwei Vertreter davon wurden gemessen.

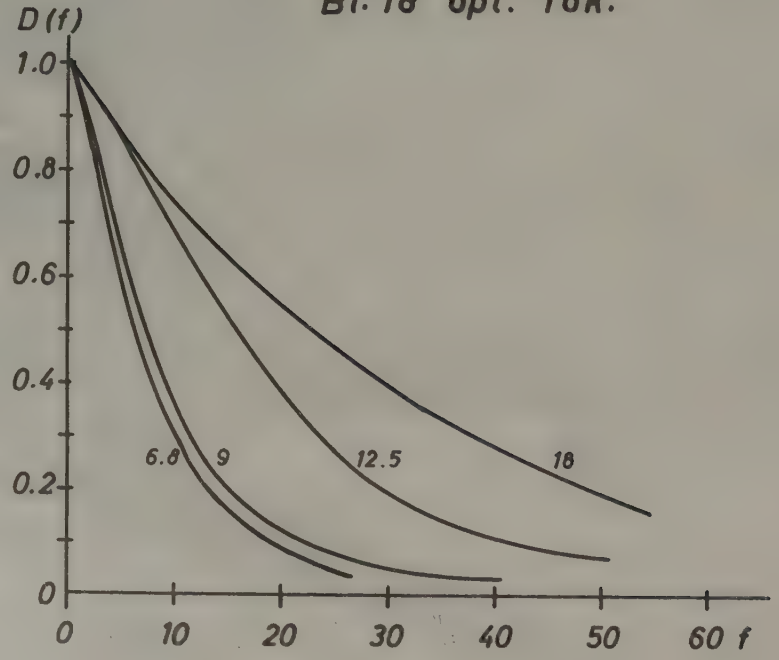
Das ältere, etwa um 1906 gebaute, mit f = 18 cm, zeigt nur bei kleinen Öffnungen eine gute Leistung (s. S.116, 117). Allerdings ist auch der Zonenfehler besonders klein.

Bei dem später 1911 - 1912 gebauten Exemplar mit f = 135mm zeigt die MÜF (s. S. 118) eine deutliche Kontrastverbesserung, besonders bei den großen Öffnungen. Auch bezüglich der Zonenfehler, die schon beim ersten Objektiv sehr klein sind, ist noch ein weiterer Fortschritt zu verzeichnen. So läßt sich im Bereich der Meßgenauigkeit ein Zonenfehler gar nicht mehr feststellen. Die kritische Blende liegt bei einer größeren Öffnung, und zwar mehr als nur auf Grund der kürzeren Brennweite zu erwarten wäre.

Rodenstock München Doppelanastigmat Nr.13173 Eurynar

1:6.8 f=18cm

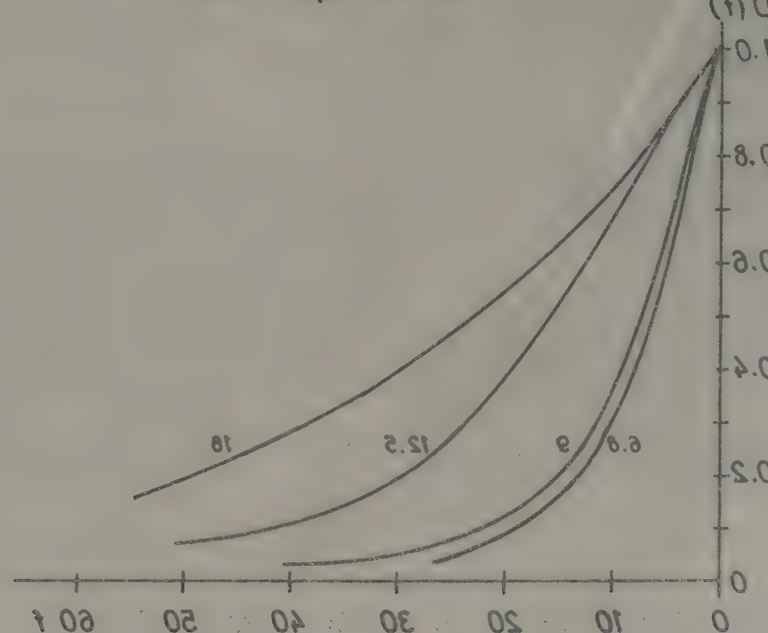
Bl. 18 opt. fok.



Rodenstock München Doppelanastigmat Nr.13173 <u>Eurynar</u>

1:6.8 f=18cm

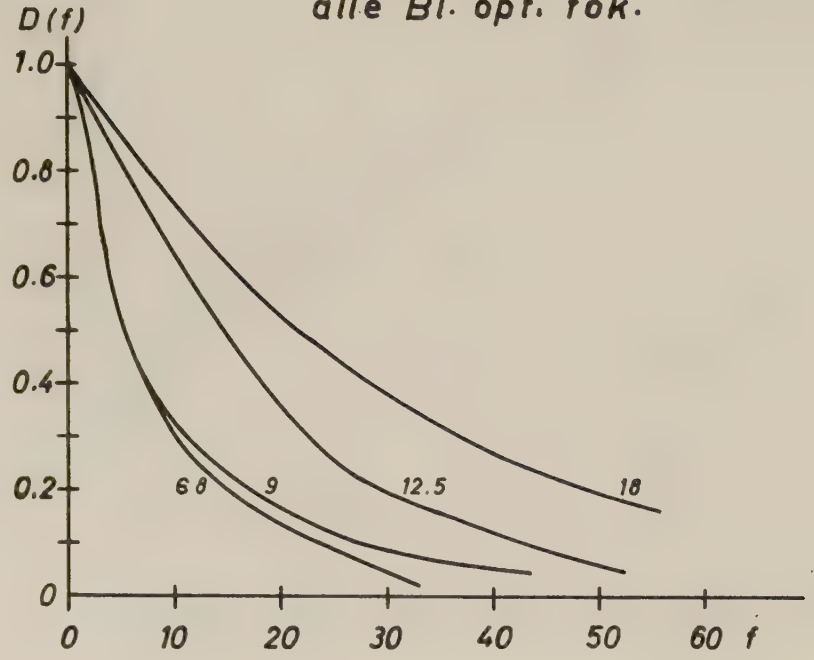
Bl. 18 opt. fok.

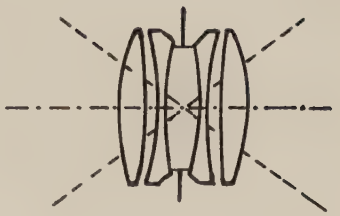


Rodenstock München Doppelanastigmat Nr. 13173 Eurynar

1:6.8 f=18cm

alle Bl. opt. fok.

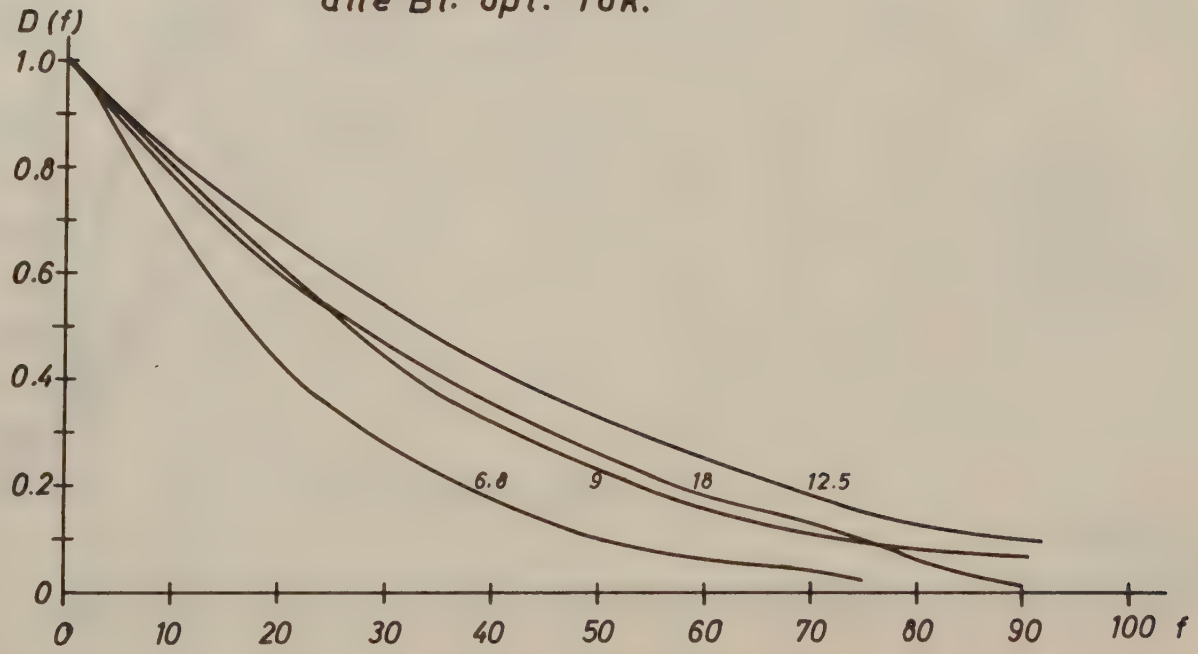




Rodenstock München Nr. 42907 Doppelanastigmat Eurynar

1:6.8 f=135 mm

alle Bl. opt. fok.



DAS DOGMAR DER FIRMA C.P. GOERZ

Da in der Syntorhälfte die Koma besonders groß war, sobald auf anastigmatische Bildfeldebnung korrigiert wurde, ließ sich, wie dort berichtet, aus zwei Syntorhälften kein für unendliche Objektweite komafreies System zusammensetzen. W.P. ZSCHOKKE entwickelte dieses Objektiv daher absichtlich auf Asymmetrie hin, um in den beiden Gliedern Teilfehler entgegengesetzten Vorzeichens anhäufen zu können, ein Verfahren, das schon im Antiplaneten STEINHEILs angewendet wurde. Dieser Weg ist auch für die Gesamtkorrektion besonders vorteilhaft, weil dann auch die Zonenfehler verbessert werden können. Die Konstruktion wurde 1907 unter der Nummer DRP 202083 geschützt und von C.P. GOERZ als Dogmar gebaut. Die Korrektion (auch der Zonenfehler) war so gut, daß das Objektiv bis 30 cm Brennweite in der Öffnung 1 : 4,5 gebaut werden konnte. Bei längeren Brennweiten wurde es wegen der dann doch noch merklichen Zonenfehler etwas lichtschwächer mit 1 : 6,3 ausgeführt.

Dieses hervorragende Urteil über die Zonenfehler kann die MÜF für das gemessene Exemplar nicht bestätigen (s. Abb. S. 121, 122). Bereits bei Blende 9 ist der Zonenfehler deutlich zu sehen, bei Blende 4,5 oder 6 führt er sogar zu Scheinauflösungen.

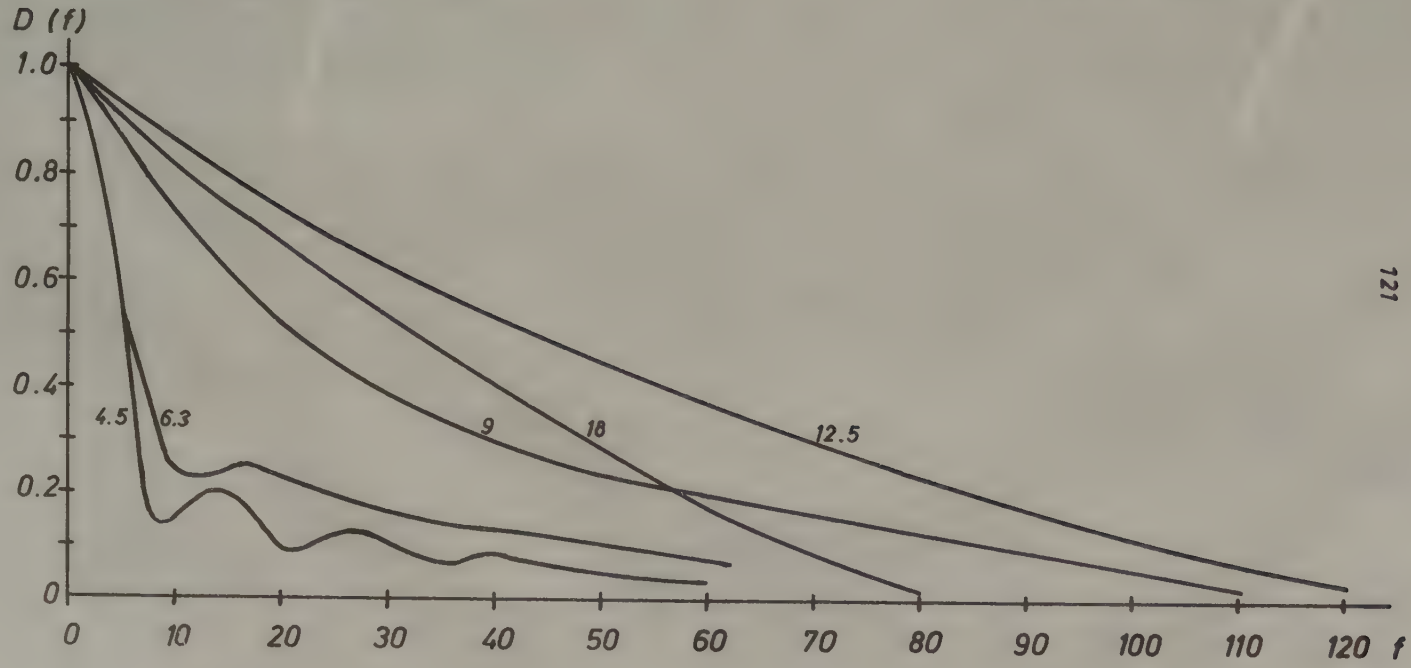
Was die Zonenfehler betrifft, ist das Eurynar dem Dogmar deutlich überlegen. Ansonsten drückt die Güte des Dogmars sich auch in der MÜF aus. Bei kleineren Blenden, besonders bei Blende 12,5, zeigt diese einen besonders für die Brennweite von 21 cm ausgezeichneten Wert. Bei den größten Öffnungen, Blende 4,5 und 6,3, sieht man jedoch, daß der Doppelanastigmat allmählich bis zu seiner Grenze entwickelt ist.

Für die Züchtung auf größte Lichtstärke, die durch die moderne Kleinbildphotographie immer mehr gefordert wurde, sind andere im Folgenden behandelte Typen besser geeignet. Das mag ein Grund sein, warum die Verbreitung der Doppelanastigmate immer mehr zurückgegangen ist. Andere sind der große Aufwand, den die vielen freistehenden oder verkitteten Linsen bei gewissenhafter Ausführung erfordern, und die damit zwangsläufig verbundenen hohen Herstellungskosten. Doppelanastigmate werden daher heute nur noch für Spezialzwecke gebaut.

C. P. Goerz Berlin Dogmar 1:4.5 f=21cm Nr. 517546

Bl. 12.5 opt. fok.

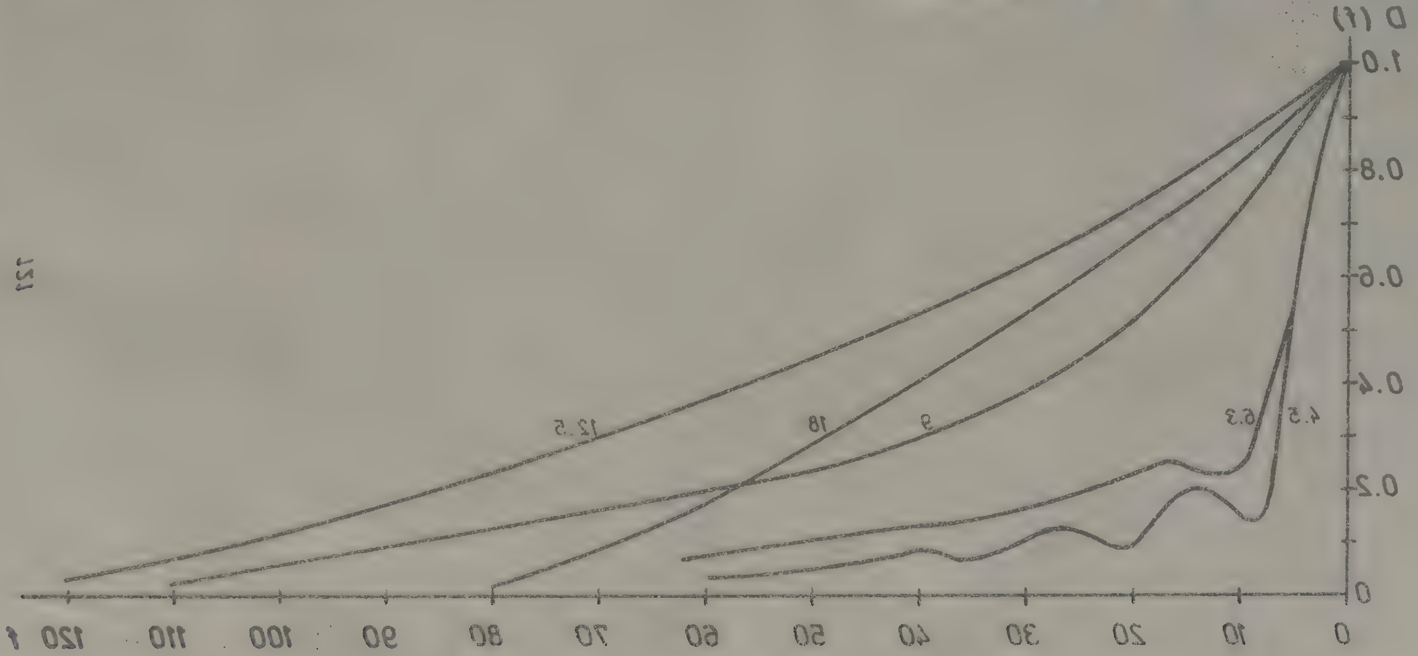
[Abb. Verh. 11:1]



C.P. Goerz Berlin Dagmar 1:4.5 f=21cm Nr.517546

[Abb. Verh. 11:1]

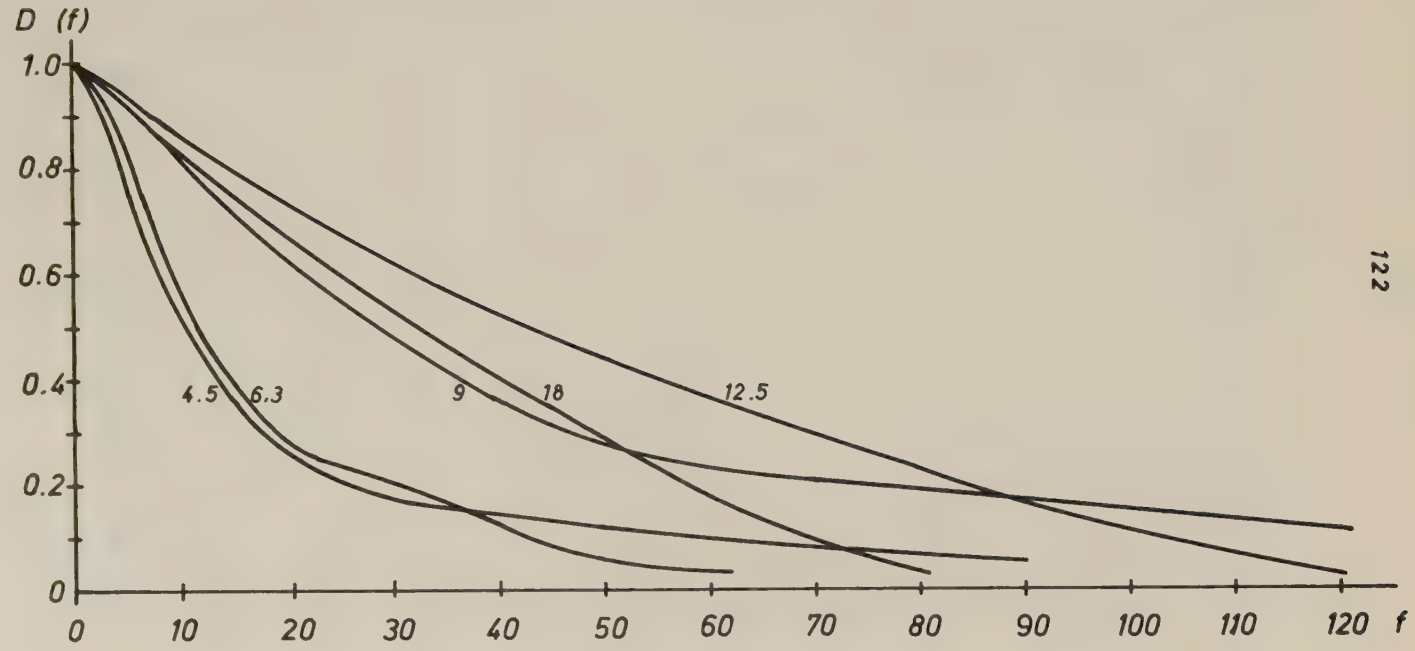
Bl. 12.5 opt. fok.



C. P. Goerz Berlin Dogmar 1:4.5 f=21cm Nr.517546

[Abb. Verh. 11:1]

alle Bl. opt. fok.



DIE ANASTIGMATE MIT DREI IN LUFT STEHENDEN GLIEDERN

COOKE-LINSE NACH H.D. TAYLOR'S PATENT

Eine anastigmatische Bildfeldebnung wird erreicht, wenn man dafür sorgt, daß die Petzvalsumme genügend klein wird oder gar verschwindet. Zwei Möglichkeiten, dies zu erreichen, wurden bereits behandelt. Die eine war die Anwendung des Hoegh'schen Meniskus, die andere die Verwendung von geeigneten Glaspaaren, den Neuachromaten. Eine dritte Möglichkeit besteht darin, daß man die Gesamtbrechkraft in geeigneter Weise auf sammelnde und zerstreuende Linsen verteilt. Dies geschah zum erstenmal in dem anastigmatischen Triplet, das Harold Dennis TAYLOR, Optical-Manager der Fa. C. COOKE and Sons in York, im Herbst 1893 zum englischen Patent anmeldete und unter der Nummer 22607 geschützt bekam. Anstoß zu dieser Entwicklung war damals das Auftreten neuer anastigmatisch korrigierter Systeme auf dem Kontinent durch ZEISS und GOERZ, die in England beträchtliches Aufsehen erregten. Hatte man dort bis zu dieser Zeit die Vorteile der neuen Jenaer Gläser noch skeptisch betrachtet, so sah man sich jetzt gezwungen, den fremden Importen eigene leistungsfähige Konstruktionen entgegenzusetzen.

Um die Korrektur des Triplets, dessen Aufbau aus der Abbildung auf S. 127 ersichtlich ist, leichter verstehen zu können, kann man es sich auf folgende Weisen entstanden denken. Entweder man geht vom Hoegh'schen Celor aus, dann erhält man es durch Zusammenschieben der mittleren Zerstreuungslinsen, die schließlich zu einer einzigen Linse verschmolzen werden. Der andere Weg zum Triplet, der auch nach Aussagen TAYLORs von ihm selbst bei der Konstruktion gegangen worden ist, geht von einem Doppelobjektiv mit zwei sehr dicken Menisken aus, deren zerstreuende Flächen einander ge-

genüberstehen. Auf beiden Seiten trennt man nun die sammelnden, bzw. zerstreuenden Flächen durch ebene Schnitte von dem sie verbindenden Glasblock ab. Man entfernt den Glasblock der Dicke d und schiebt die Sammellinsen auf den Abstand d : n an die Zerstreuungslinsen heran, so daß das ursprüngliche System optisch nur unbedeutend verändert wird. Dann werden die beiden Zerstreuungslinsen zu einer einzigen verschmolzen.
Um eine chromatische Korrektion zu erhalten, führt man gleichzeitig ein stärker farbzerstreuendes Glas ein und biegt die Linsen noch so durch, daß auch die monochromatischen Fehler ein Minimum werden.
Mit diesem Objektiv erbrachte TAYLOR den Beweis, daß es mit nur 3 Linsen und entsprechend gewählten Abständen möglich ist, die beiden chromatischen und die 5 Seidel'schen Fehler zu korrigieren und so mit einfachen Mitteln ein Objektiv anastigmatischer Bildfeldebnung zu bauen. Ein besonderes Augenmerk war neben der Korrektion der anderen Aberrationen auf Komafreiheit gelegt. Nach einigen Mustern, bei denen zum Beispiel das Mittelglied verkittet war, wurde das Triplet in endgültiger, mit etwas von der Zeichnung abweichender Form hergestellt. Es hatte ein Öffnungsverhältnis von 1 : 7,7,und sein Bildfeldwinkel betrug 30°. Die beiden Vorderlinsen haben zusammen eine sehr große Brennweite und stehen eng nebeneinander, näher als in der Zeichnung angegeben ist. Die beiden Sammellinsen sind aus den neuen, hochbrechenden Gläsern und die mittlere Linse aus schwerem Flintglas mit kleinerer Brechzahl hergestellt.

Diese Objektive wurden in England von der Firma TAYLOR, TAYLOR u. HOBSON , ab 1895 als Cooke Lens gebaut. In Deutschland fand sich als Lizenznehmer die gerade in eine Aktiengesellschaft übergegangene Firma VOIGTLÄNDER, die dieses Objektiv nach Aussagen H.D. TAYLORs unter Beibehaltung der gleichen Daten in Braunschweig baute. Es wurde als Triple-Anastigmat eingeführt und unter der

Nummer DRP 86757 patentrechtlich geschützt. Daneben wurde auch ein lichtstärkerer Typ mit 1 : 4,5 und etwas anderer Linsenanordnung gebaut.
Erstaunlich war bei diesen Objektiven die gute Korrektur, die mit den wenigen verfügbaren Parametern erzielt werden konnte. So war die Koma in gleicher Güte korrigiert, wie die Sinusbedingung erfüllt war. HARTING (112) berichtet, daß die Cooke-Lens zur Zeit ihrer Herausgabe die damals bekannten Anastigmate an Feinheit der Schärfe über das brauchbare Bildfeld hin übertraf. Zudem konnte das brauchbare Bildfeld durch Abblenden vergrößert werden, was z.B. beim Petzval-Objektiv (s. S.81), das dem Triplet auf den ersten Blick ähnelt, nicht der Fall war.

Die MÜF des Voigtländer'schen Exemplars wurde, wie auch aus den Meßblättern (s. S. 126. 127) hervorgeht, im Abbildungsverhältnis 7,6 : 1 gemessen. Um den Einfluß des Kollimators für größere Brennweiten festzustellen, erfolgte auch eine Messung mit Kollimator, die für die kritische Blende mit kleinen Kreuzen in S. 127 aufgetragen ist. Die Differenz liegt innerhalb der Meßgenauigkeit. Um ganz sicher zu gehen, daß Übertragungseigenschaften des Kollimators nicht in die Messungen eingehen, wurde er trotz dieser guten Übereinstimmung nur für Prüflinge mit einer Brennweite bis etwa 20 cm benützt.

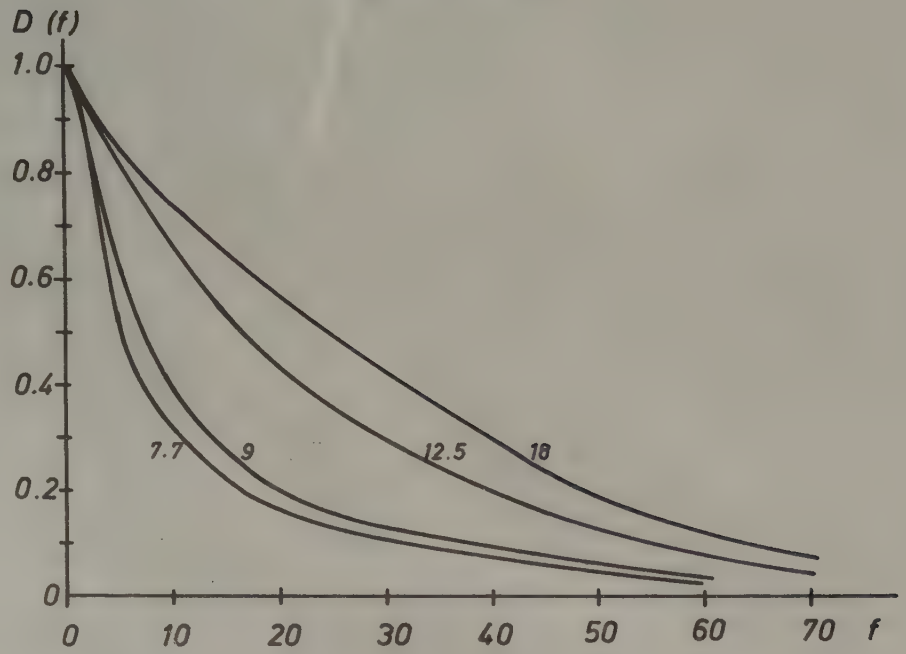
Die gute Leistung der Cooke Lens, die nach Aussagen der Fa. VOIGTLÄNDER im Jahre 1906 gebaut wurde, ist aus der MÜF ersichtlich. Die deutlichen Zonenfehler, gegen die das einfache Triplet besonders anfällig ist, sind jedoch nicht zu übersehen. Verbesserungen in diesem Punkt wie auch in der anastigmatischen Korrektion wurden später durch die Verwendung hochbrechender Sammellinsen erzielt. Das Öffnungsverhältnis der einfachen Triplets konnte damit im Laufe der Zeit bis 1 : 2,8 vergrößert werden, wobei jedoch die Ecken nicht mehr ganz scharf ausgezeichnet werden.

Voigtländer Triple Anastigmat III Cooke Linse

H.D. Taylors Patent f = 280mm Nr. 52623

Bl. 18 opt. fok.

[Abb. Verh. 7.6:1]

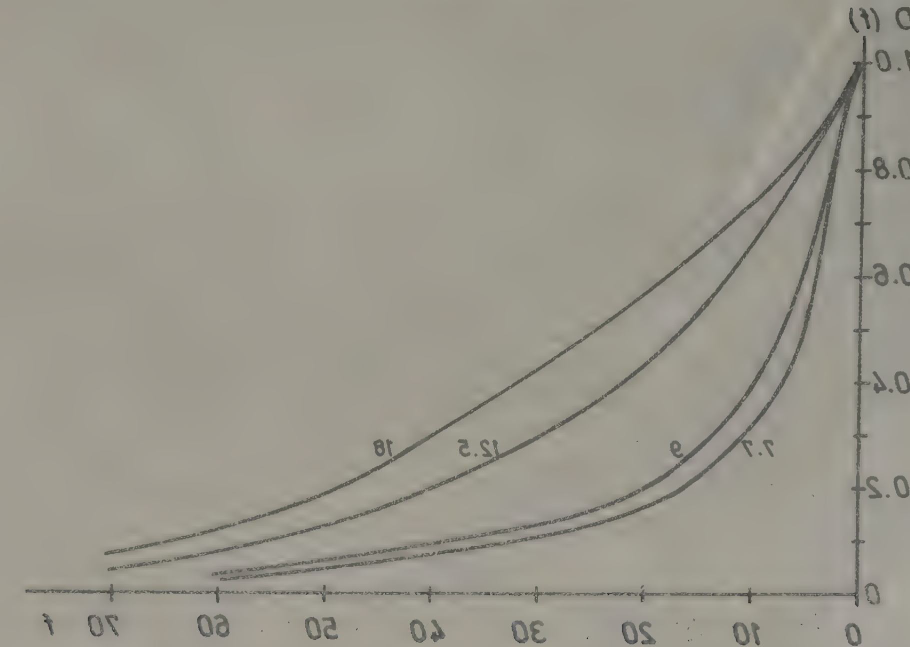


Voigtländer Triple Anastigmat III <u>Cooke Linse</u>

H.D. Taylors Patent f = 280mm Nr. 52623

Bl. 18 opt. fok.

[Abb. Verh. 7.6:1]

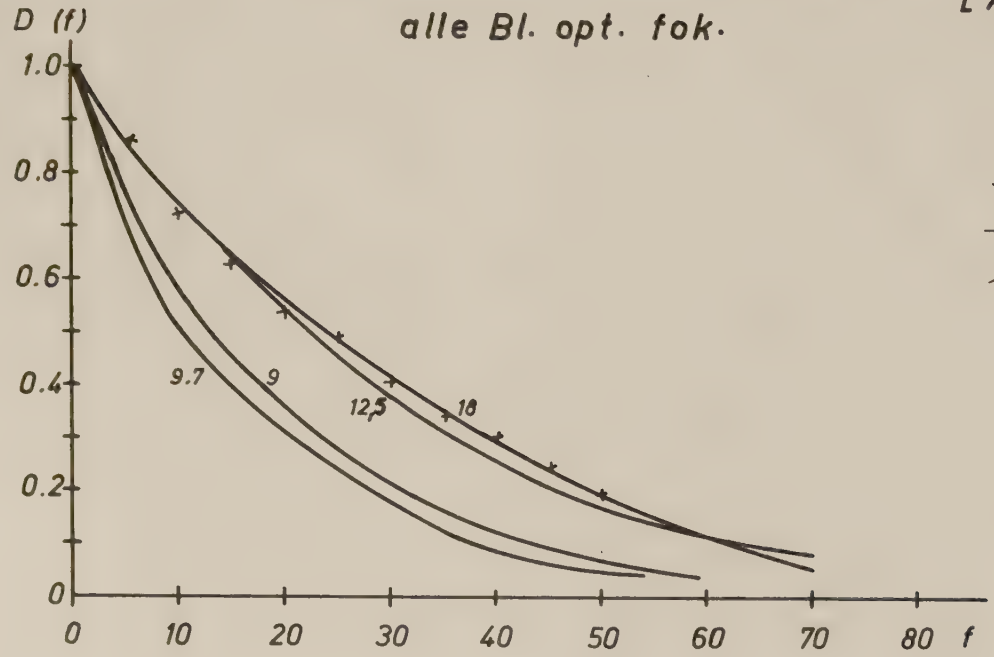


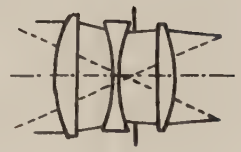
Voigtländer Triple Anastigmat III Cooke Linse

H.D. Taylors Patent f=280mm Nr. 52623

[Abb. Verh. 7.6:1]

alle Bl. opt. fok.





DAS CASSAR VON STEINHEIL

Ein derartig verbessertes einfaches Triplet wurde mit dem Cassar der Firma STEINHEIL gemessen. Die ersten Cassare - der Name ist eine Abkürzung von Carl August Steinheil Söhne - erschienen 1919. Sie wurden als Kleinbildanastigmate beliebig kleiner Brennweite und in Öffnungsverhältnissen bis zu 1 : 2,5 hergestellt (132). Der Typ mit einem Öffnungsverhältnis von 1 : 2,9 und einem Bildfeldwinkel von 40° geht auf das Jahr 1921 zurück. Das hier untersuchte Exemplar wurde am 2.4.1942 in eine Franka Kamera eingebaut und ausgeliefert. Die MÜF dieses Cassars (s.S. 130, 131) zeigt nur geringe Zonenfehler und erreicht namentlich in abgeblendetem Zustand eine gute Leistung (man beachte den von den bisherigen Messungen abweichenden Maßstab in der Frequenzachse). Die Angabe des Öffnungsverhältnisses von 1 : 2,9 erweist sich jedoch als etwas optimistisch. Dies zeigt sich aus den zusammenfallenden Kurven der Blende 2,9 und 4 und dem Umstand, daß sich beim Aufblenden des Objektivs zwischen diesen Werten die vom SEV gemessene Gesamtintensität nicht änderte. Es tragen also - auf Grund von Vignettierungen - keine weiter außen liegenden Strahlen zur Abbildung bei als schon bei Blende 4.

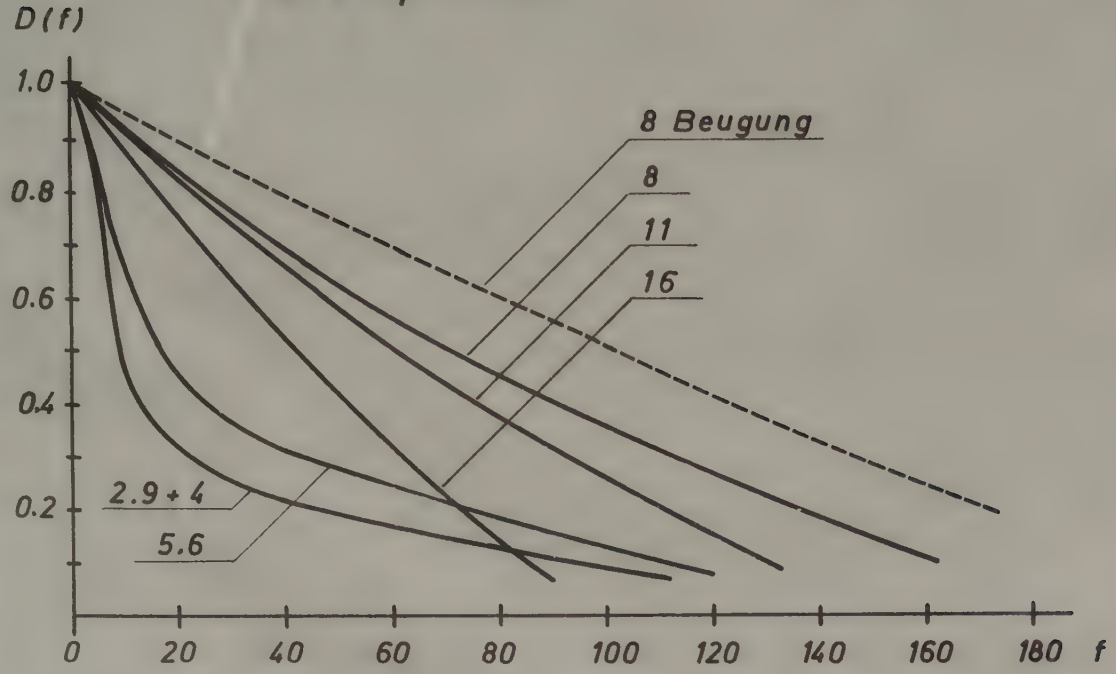
Zu all den oben geschilderten Vorteilen dieser dreilinsigen Anastigmate gesellt sich die vergleichsweise einfache und billige Herstellung, und so war es kein Wunder, daß sie bald die Aplanate völlig und zahlenmäßig auch die Doppelanastigmate verdrängt hatten. Besondere Verbreitung erlangten sie mit dem Beginn der Kleinbildphotographie. Für diese gaben sie lichtstarke Normalobjektive mit guter Bildqualität für mittlere Gesichtsfeldwinkel ab, so daß sie auch heute noch vielfach in allen möglichen Konstruktionen von den verschiedensten

Herstellern als billige Amateurobjektive gebaut werden. In längeren Brennweiten haben sie sich auch für Portraitaufnahmen gut bewährt, ebenso für Fernaufnahmen, weil dort nur ein kleinerer Bildwinkel in Anspruch genommen wird, für den sie eine gute Schärfe liefern. Da die Triplets mit ihren einzelnen Gliedern unempfindlich gegen Erwärmungen sind, verwendet man sie auch gerne als Projektionsobjektive.

Weil das einfache System schon so leistungsfähig ist, kann man durch Aufspalten der einzelnen Glieder in verkittete Linsensysteme die Leistung noch erheblich weiter steigern und besonders die Fehler höherer Ordnung, wie z.B. die Zonenfehler, erfolgreich bekämpfen. Dadurch läßt sich auch die Lichtstärke dieser verkitteten Triplets noch weiter steigern. Die folgenden Objektivbeispiele vom Tessar Typ, außerdem die Stigmatic Lens, das Heliar, Sonnar und Hektor sind zu diesen verbesserten Triplets zu rechnen, wenn sie auch zum Teil aus anderen Überlegungen heraus entwickelt wurden und somit nicht direkt Abkömmlinge der Taylor'schen Konstruktion sind.

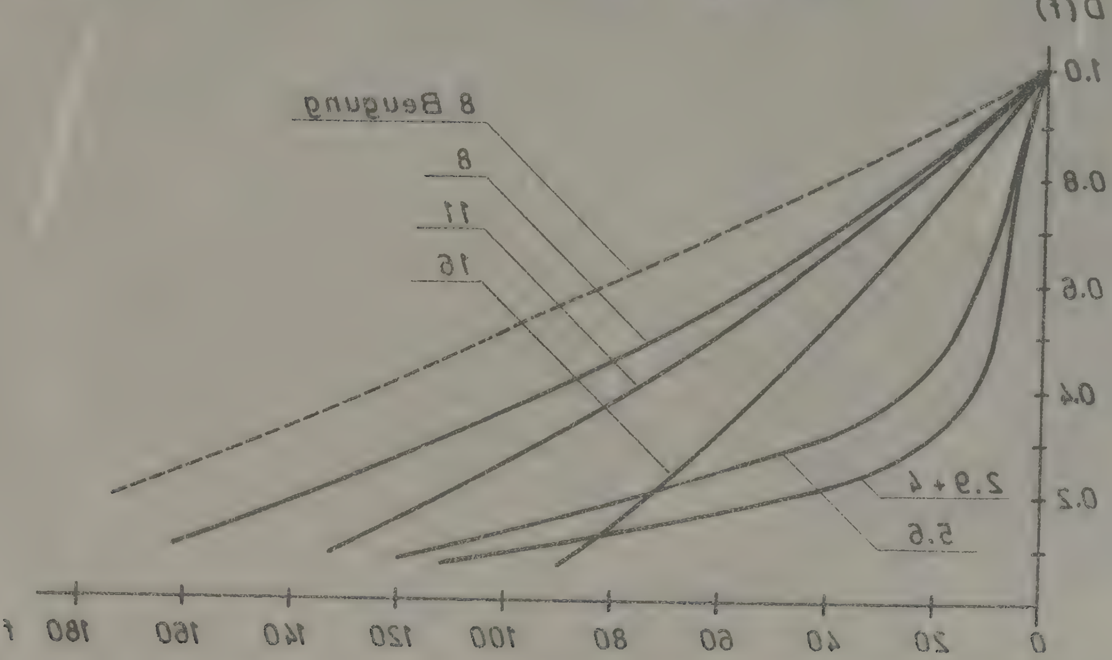
Steinheil München Nr.482828 Cassar 1:2.9 f=7.5cm

Bl.8 opt. fok.



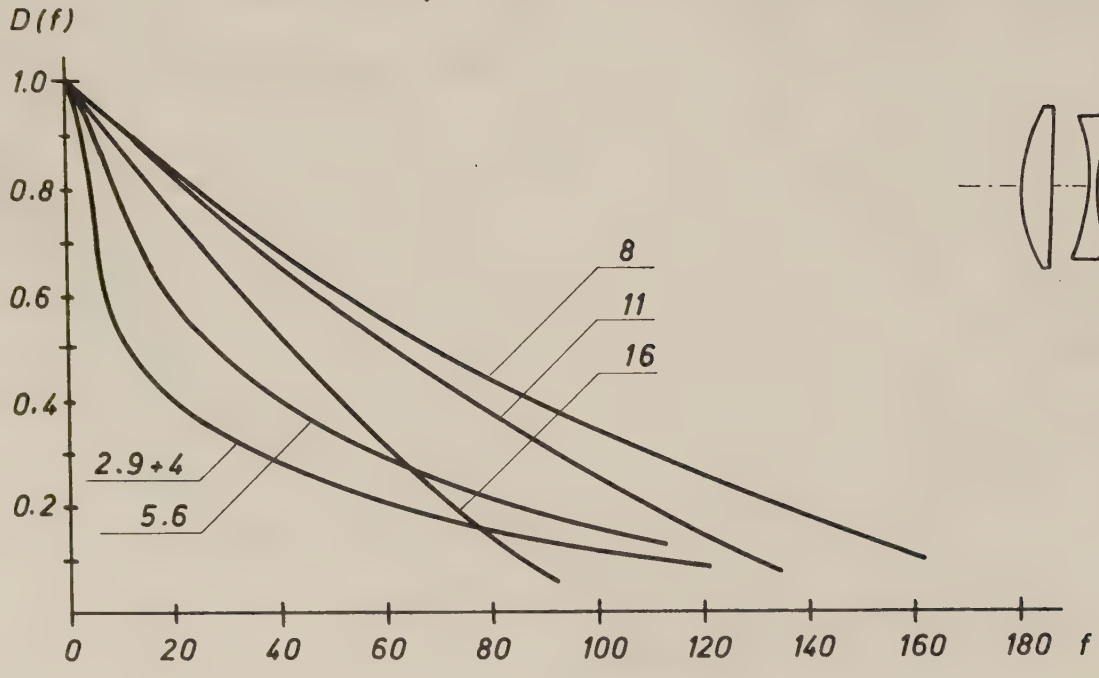
Steinheil München Nr.482828 Cassar 1:2.9 f=7.5cm

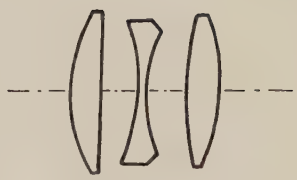
Bl.8 opt. fok.



Steinheil München Nr. 482828 Cassar 1:2.9 f=7.5 cm

alle Bl. opt. fok.



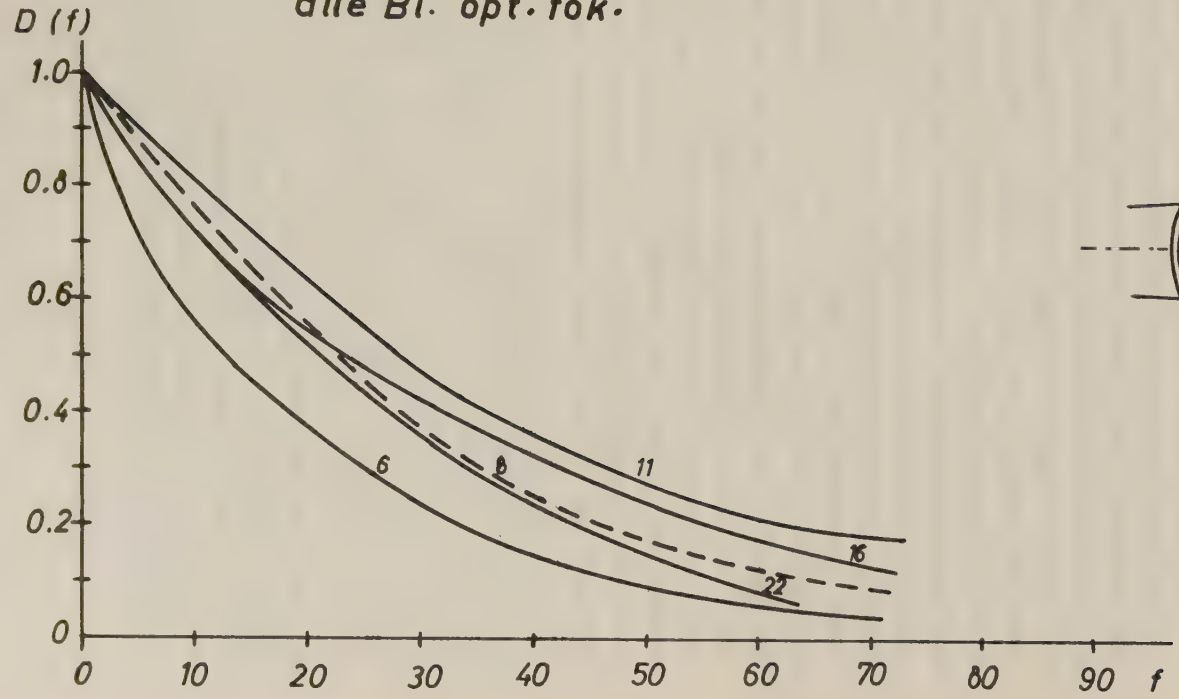


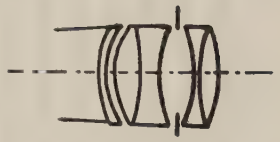
DIE STIGMATIC LENS VON DALLMEYER

Ein erweitertes Triplet ist die von Hugh Lancelot ALDIS 1885 berechnete und von DALLMEYER in London gebaute Stigmatic Lens. Sie bestand anfangs aus 6 in 3 Gliedern vereinigten Linsen. Etwas später, ca. 1897, erschien, aufbauend auf dieses System (auf der Grundlage des englischen Patents Nr. 16640 von 1895 (127)), die zweite Ausführung mit nur 5 Linsen, so wie sie in der Abbildung (s. S.133) dargestellt ist. Dieses Objektiv wurde als Serie II mit einem Öffnungsverhältnis von 1 : 6 in den Handel gebracht. Bei M. v. ROHR (110) wird sie als zonenfrei beschrieben, da eine Einstelldifferenz fehle. Diese Aussage wird durch die MÜF völlig bestätigt, innerhalb der Meßgenauigkeit konnten keine Blendendifferenzen gefunden werden.

J.H. Dallmeyer Nr.3 London Nr. 61609 Stigmatic Series II f = 16.5 cm

alle Bl. opt. fok.





DAS TESSAR VON ZEISS

Auch das Tessar betrachtet man heute als zu den Triplets gehörig. Seiner Entstehungsgeschichte nach gehört es jedoch zu den Doppelanastigmaten. RUDOLPH hatte 1899 versucht, die Korrektion der Anastigmaten durch Auflösen in einzelstehende Linsen zu verbessern. Das Ergebnis davon war das Unar (DRP 134408), bei dem Luftlinsen an die Stelle der Kittflächen traten, und zwar eine zerstreuende Luftlinse zwischen 2. und 3. Fläche und eine sammelnd wirkende Luftlinse zwischen 6. und 7. Fläche. Die üblichen Gegensätzlichkeiten, durch die bei den Anastigmaten die Korrektion des Öffnungsfehlers und die anastigmatische Bildfeldebnung erreicht wurden, sind also bei dem Objektiv erhalten geblieben. Die Anzahl der frei verfügbaren Konstruktionselemente ist dagegen angestiegen, so daß die Möglichkeit bestand, eine bessere Gesamtkorrektur zu erreichen. Dieses Objektiv hatte wohl nicht ganz den Erwartungen RUDOLPHs entsprochen, und so erschien 1902 als Kreuzung zwischem dem Unar und dem älteren Protar das Tessar (DRP 142294). Hier steht als Vorderglied das Vorderglied des Unars, im Hinterglied der Neuachromat des Protars. Eine Verwandtschaft zum Taylor-Typ ist aber trotzdem festzustellen, da das Vorderglied aufgespalten ist und nur hinten der Neuachromat erhalten blieb (s. auch Abb. S. 139). Seine sammelnde Kittfläche im letzten Glied diente in erster Linie zur Herabsetzung der Zonenfehler, zu denen, wie erwähnt, die Triplet-Konstruktion besonders neigt. Das erste Tessar hatte eine Öffnung von 1 : 6,3 und einen Bildfeldwinkel von 60°, bis zu dem auch die Verzeichnung behoben war. Dieses Objektiv hatte, wenn man den älteren Berichten Glauben schenken kann, einen bedeutend besseren Korrektionszustand als alle bisherigen Anastigmate. Dabei war und ist auch heute noch die Stärke dieses Objektivs

seine ausgezeichnete Bildqualität für einen normalen Winkelbereich (Brennweite ungefähr gleich Formatdiagonale). Für eine Entwicklung zum Weitwinkel hat es sich nicht geeignet. Zu großen Öffnungsverhältnissen wurde es jedoch sehr erfolgreich weiterentwickelt. So wurden schon bald weitere Serien mit Öffnungen von 1 : 9 (für Repro), 1 : 4,5, 1 : 3,5 und später mit neuen Gläsern sogar 1 : 2,8 herausgebracht. Die lichtstarken Tessar-Serien zeigen deutlich den gewaltigen Fortschritt, den die photographische Optik seit 1840, dem Geburtsjahr des Petzval-Objektivs, genommen hat. Wie dieses besteht das Tessar nur aus 4 Linsen. Es zeigt bei gleicher Öffnung eine gleich gute Korrektion der sphärischen Abweichung, der Koma und der Verzeichnung. Im Gegensatz zum Petzval-Objektiv ist jedoch beim Tessar die anastigmatische Bildfeldebnung für ein relativ großes Bildfeld gelungen. Die Serien wurden mit den verschiedensten Brennweiten hergestellt, die es vom Kleinbild bis zu Fliegeraufnahmen geeignet machten. Ein derartiges Tessar mit f = 70 cm und einer Öffnung von 1 : 5 stand uns als Kollimator für die Messungen vom Deutschen Museum als Leihgabe zur Verfügung. Seine große Leistung zeigt sich z.B. anläßlich der Messung der Cooke Linse (s. S.127).

Am Anfang war es beim Tessar wie auch bei der Cooke Linse noch üblich, die Scharfeinstellung durch Abstandverschiebung des Vordergliedes über einen Schneckengang vorzunehmen. Diese Methode wurde jedoch bald wieder fallengelassen, da sie in jedem Fall zu einem Abfall in der Abbildungsleistung führte.

Das erste hier gemessene Tessar hat eine maximale Öffnung von 1 : 4,5 und wurde von ZEISS in Jena 1907, im Jahre des Produktionsbeginns dieses Typs,gebaut (s. S. 138, 139). Trotz der Kittfläche im Hinterglied ist der Zonenfehler bei großen Öffnungen noch stark aus-

geprägt, wenn auch bei gleichen Blenden gegenüber der Cooke Linse eine Verbesserung festzustellen ist. Die MÜF und damit die Bildwiedergabe hängt bei diesem Objektiv sehr stark von der Blendenstellung ab, die Ausnützung der großen Öffnungen muß mit einem starken Kontrastabfall erkauft werden.

Das zweite Objektiv mit einer Öffnung von 1 : 3,5 wurde bei E. KRAUSS in Paris gebaut. Weil das damalige französische Patentgesetz die Einfuhr patentierter Waren aus Deutschland verbot, übernahm die Firma E. KRAUSS und Cie. bereits in den neunziger Jahren die Fabrikationslizenz der ZEISS'schen Anastigmate und damit auch deren Produktion. Die MÜF (s. S.140, 141) zeigt, daß auch bei diesem Tessar der Zonenfehler noch bemerkenswert groß ist. Die Leistungseinbuße bei Verwendung großer Öffnungen ist jedoch geringer als beim ersten Objektiv. Es ist also hier trotz der Vergrößerung der Lichtstärke ein Fortschritt im Bau der Tessare festzustellen. Allerdings kommen die Bildfehler höherer Ordnung bei den kleineren Objektivdimensionen nicht ganz zum Tragen.

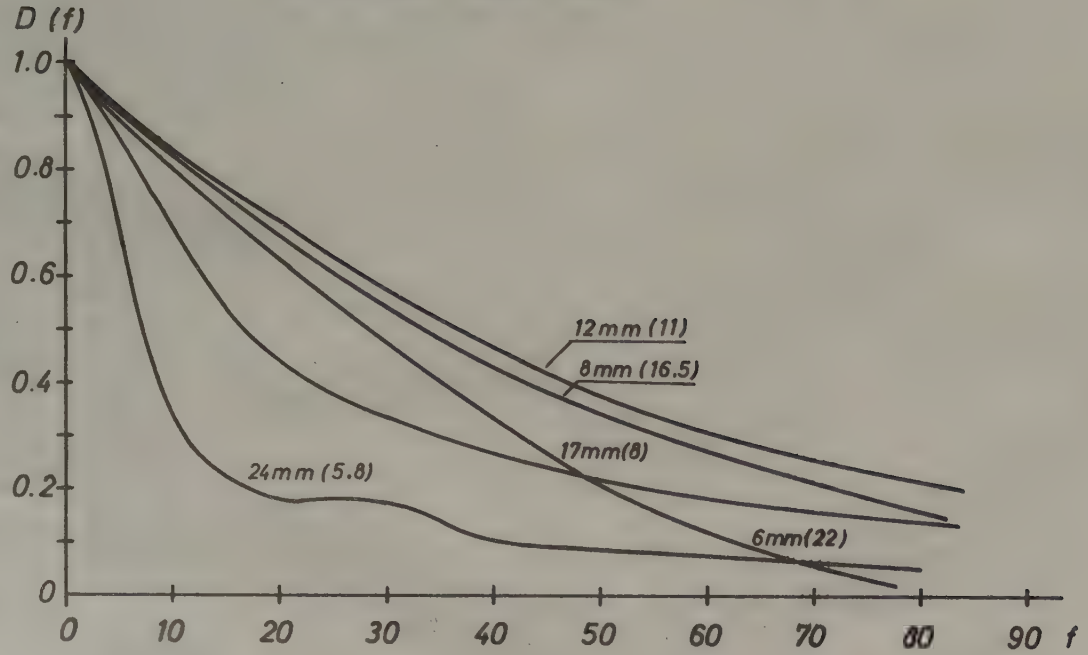
Nachdem die Patente der Firma ZEISS abgelaufen waren, wurde das Tessar von vielen optischen Werken in aller Welt nachgebaut, da es bei einfachem Aufbau eine hervorragende Bildqualität lieferte. Viele Objektive, die auf "ar" enden, sind Tessare oder Abkömmlinge von ihnen (u.a. Agfa-Solinar, Kodak-Ektar, Leitz-Elmar, Rodenstock-Ysar, Schneider-Xenar, Voigtländer-Skopar u.v.a.). Sie stellen heute noch die bei mäßigem konstruktivem Aufwand besten Normalobjektive dar. Wegen ihrer relativ großen bildseitigen Schnittweite sind sie besonders für Spiegelreflexkameras geeignet, da dort ein relativ großer freier Abstand für den Schwenkspiegel vorhanden sein muß. Erst die gegenwärtigen hohen, besonders durch die Kleinbildphotographie entstandenen Ansprüche an

Lichtstärke, Bildwinkel und Farbkorrektur haben den Wunsch nach noch besseren und daher komplizierteren Systemen laut werden lassen. Die bisher besten Erfolge hat man in dieser Richtung mit Weiterentwicklung der noch später besprochenen Gaußobjektive erzielt. Selbstverständlich wurden auch die ZEISS'schen Tessare im Laufe der Zeit immer weiter verbessert, so von E. WANDERSLEB, W. MERTE, ZÖLLNER. Besonders die Verwendung von höchstbrechenden Gläsern mit seltenen Erden hat die Möglichkeit zur Behebung der Zonenfehler von Öffnung und Astigmatismus wesentlich erweitert.

Neben diesen Tessaren, die einfache Objektive höchster Qualität darstellen, wurden auch äußerst kompliziert gebaute Abkömmlinge des Tessars entwickelt, eine Tendenz, die gerade dem wesentlichen Vorteil dieses Objektivs, seinem einfachen Aufbau, entgegenläuft. Deshalb haben sich diese auch nie die große Verbreitung des Tessars erwerben können.

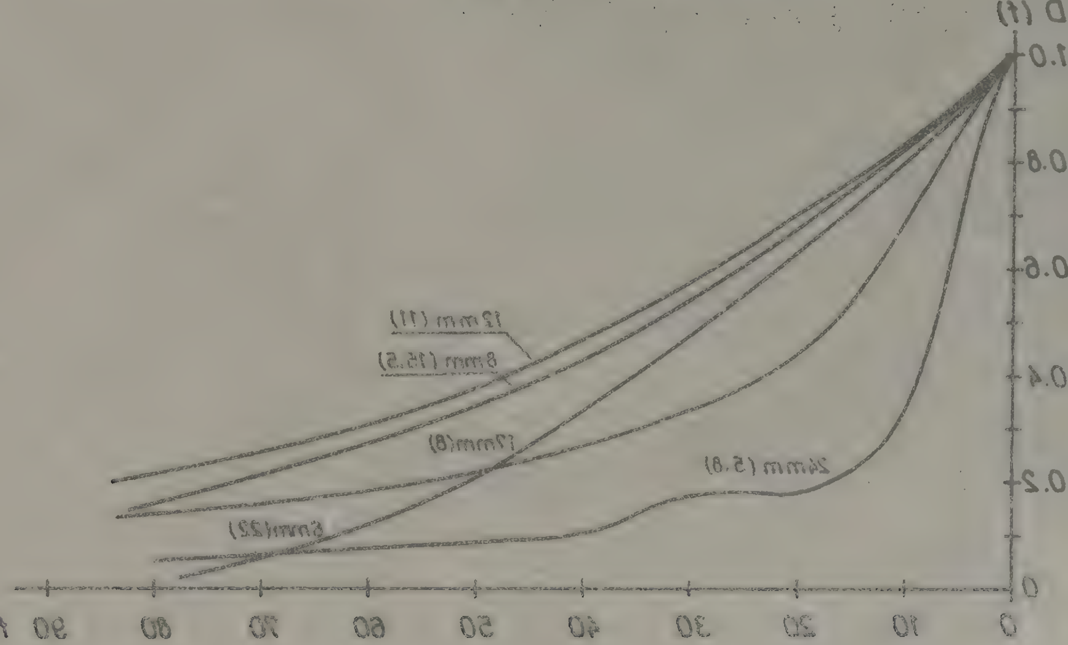
Carl Zeiss Jena Nr. 107905 Tessar 1:4.5 f=150mm D.R.P. 142294

Bl. 12 (11) opt. fok.



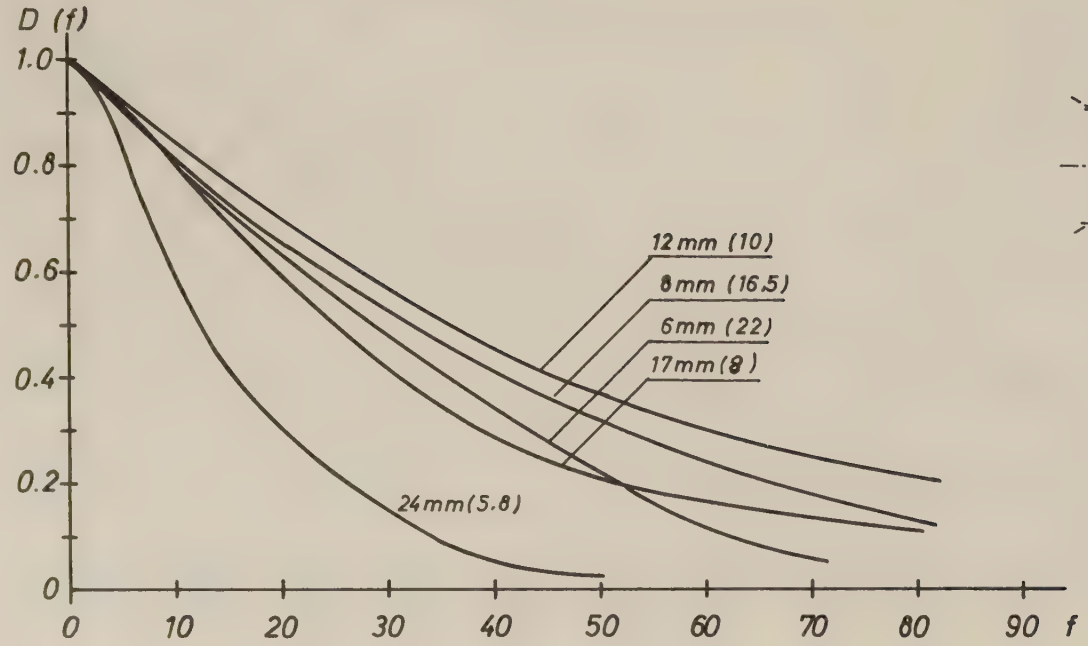
Carl Zeiss Jena Nr.107905 Tessar 1:4.5 f=150mm D.R.P 142294

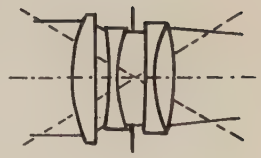
Bl.12 (11) opt. fok.



Carl Zeiss, Jena Nr.107905 Tessar 1:4.5 f=150mm D.R.P. 142294

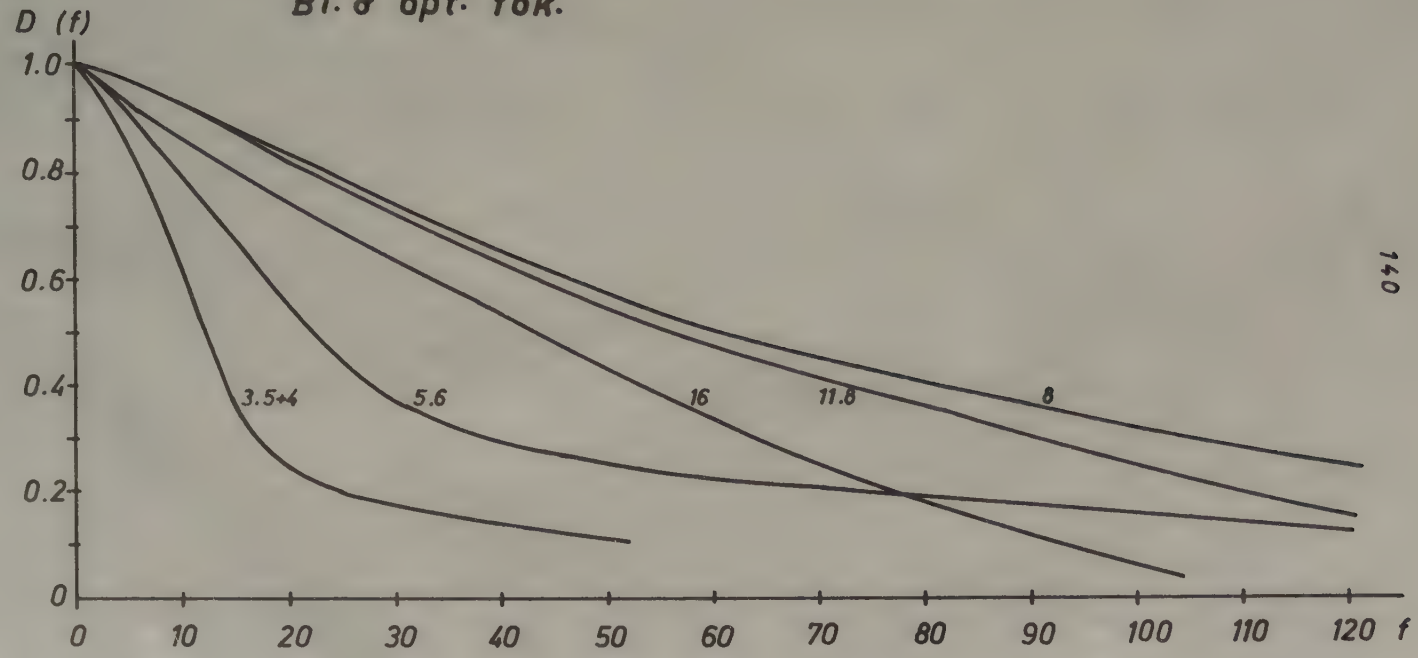
alle Bl. opt. fok.





E. Krauss, Paris Nr.101260 Tessar-Zeiss 1:3,5 f=75mm

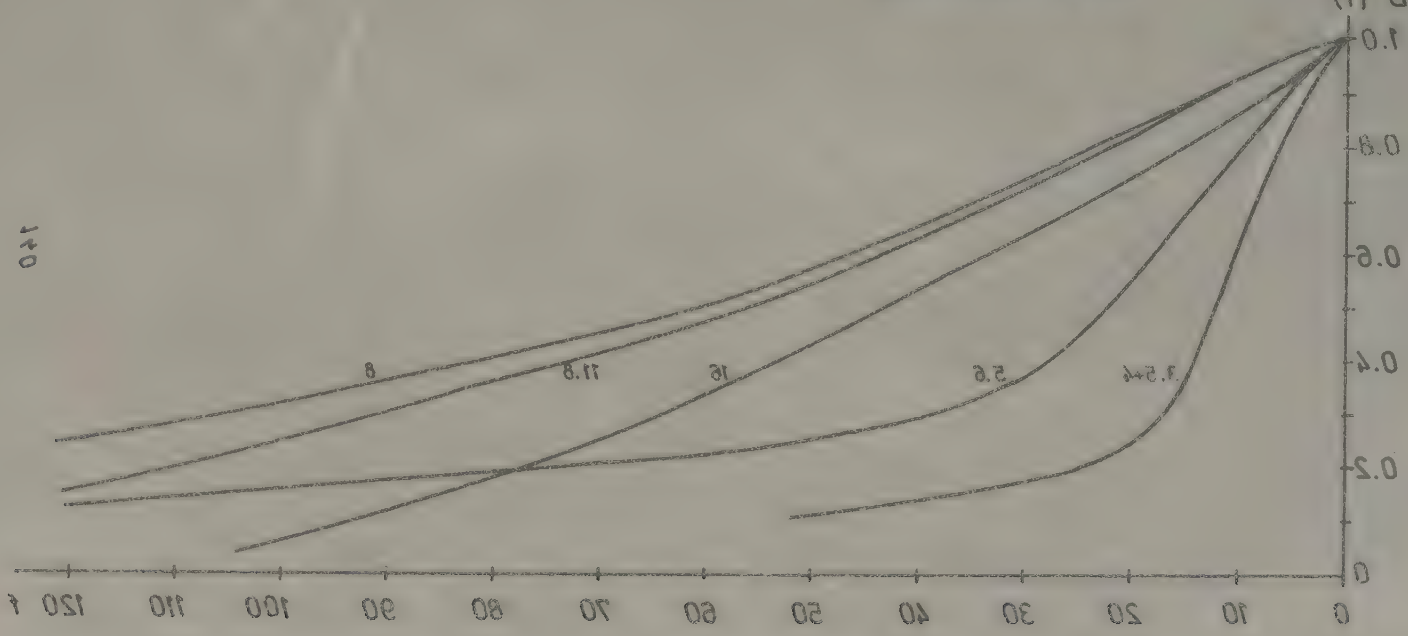
Bl. 8 opt. fok.



140

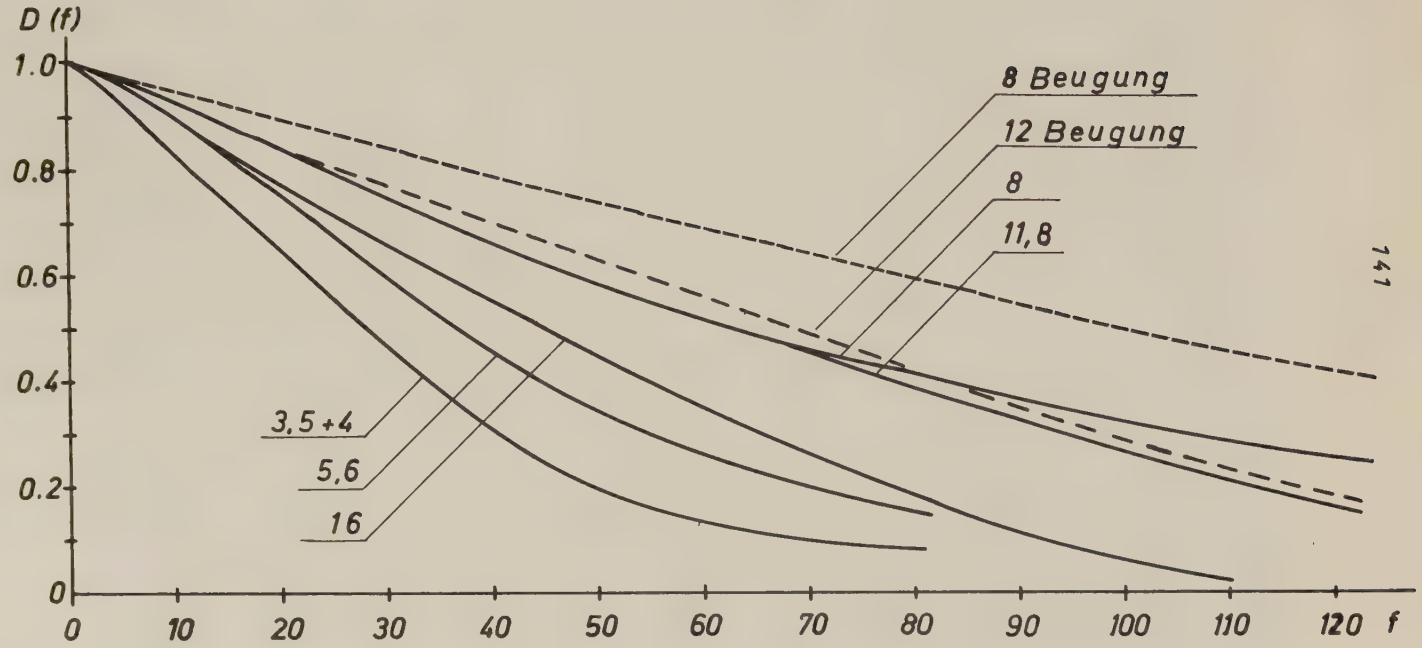
E. Krauss, Paris Nr.101260 Tessar-Zeiss 1:3,5 f=75mm

Bl. 8 opt. fok.



E. Krauss, Paris Nr.101260 Tessar – Zeiss 1:3,5 f=75 mm

alle Bl. opt. fok.



DAS HELIAR

Von den vielen Tripletmodifikationen sei als nächstes das Heliar DRP 124934 erwähnt, das 1900 von Hans HARTING konstruiert und 1902 von VOIGTLÄNDER herausgebracht wurde. Besonderer Wert war auf die Verringerung der Zonenfehler gelegt, die so klein gehalten werden konnten, daß es für alle Brennweiten bis 60 cm mit der Öffnung 1 : 4,5 gebaut werden konnte. Durch die Einführung je einer sammelnden Kittfläche im ersten und im dritten Glied wurde das Heliar zu einem 5-linsigen System, bei dem zwischen zwei Neuachromaten eine zerstreuende Linse aus niedriger brechendem Silitkatglas steht. Die Blende liegt zwischen 2. und 3. Glied (s. auch S. 147). Durch diese Anordnung wurden starke Krümmungen der Außenlinse vermieden. Die Sinusbedingung ist für die volle Öffnung streng erfüllt und die Koma über das ganze brauchbare Bildfeld von 54° völlig beseitigt. Das Objektiv wurde teilweise mit zusätzlich verkitteter Zerstreuungslinse (6-Linser) ausgeführt, doch war diese stark gekrümmte Kittfläche fertigungstechnisch unerwünscht. Später wurde das Öffnungsverhältnis von A. TRONNIER auf 1 : 3,5 und sogar 1 : 2,8 gesteigert. Während beim 1 : 4,5 in den verkitteten Gliedern die Zerstreuungslinsen außen lagen, kamen sie bei den lichtstärkeren Serien nach innen.

Mit dem Heliar war ein Objektiv entstanden, das den höchsten Ansprüchen entsprach. Zudem war es eines der ersten Allzweckobjektive, jedoch wie alle Triplets nicht für eine Entwicklung zum Weitwinkel geeignet, da die Petzvalsumme zu hoch bleibt.

Sowohl bei Berufsphotographen wie Amateuren war das Heliar sehr geschätzt. Besonders das Heliar 1 : 4,5 erfreute sich in langen Brennweiten bei Fachphotographen einer großen Beliebtheit wegen der malerisch diffusen Eigen-

art seiner Zeichnung. Seine weiterentwickelten Formen haben sich bis heute gehalten. Die Art der Zeichnung eines Objektivs hängt nämlich nicht nur von der Größe der durch die Restfehler und Beugung bedingten Zerstreuungsfigur ab sondern auch von der Helligkeitsverteilung in der Zerstreuungsfigur. In dieser Hinsicht scheint das Heliar eine besonders günstige Konstruktion gewesen zu sein, denn man berichtet, daß es bei ausgezeichnetem Auflösungsvermögen feiner Details auch bei offener Blende und starken Kontrasten eine plastische Bildwiedergabe von hoher Brillanz ermöglichte, ohne dabei ausgesprochen hart zu zeichnen. Für Portraitaufnahmen war es daher speziell geeignet. Zu diesem Zweck wurde es neben dem Aristostigmaten viel verwendet. Bei sehr kurzen Brennweiten für Kleinbildkameras kam dieser Zeichnungseffekt nicht so zur Wirkung.

Zeitweise wurde das Heliar auch als "Universalheliar" gebaut, bei dem die mittlere Linse verschiebbar war, so daß man die Wahl zwischen scharfen Bildern und einem Weichzeichnereffekt hatte.

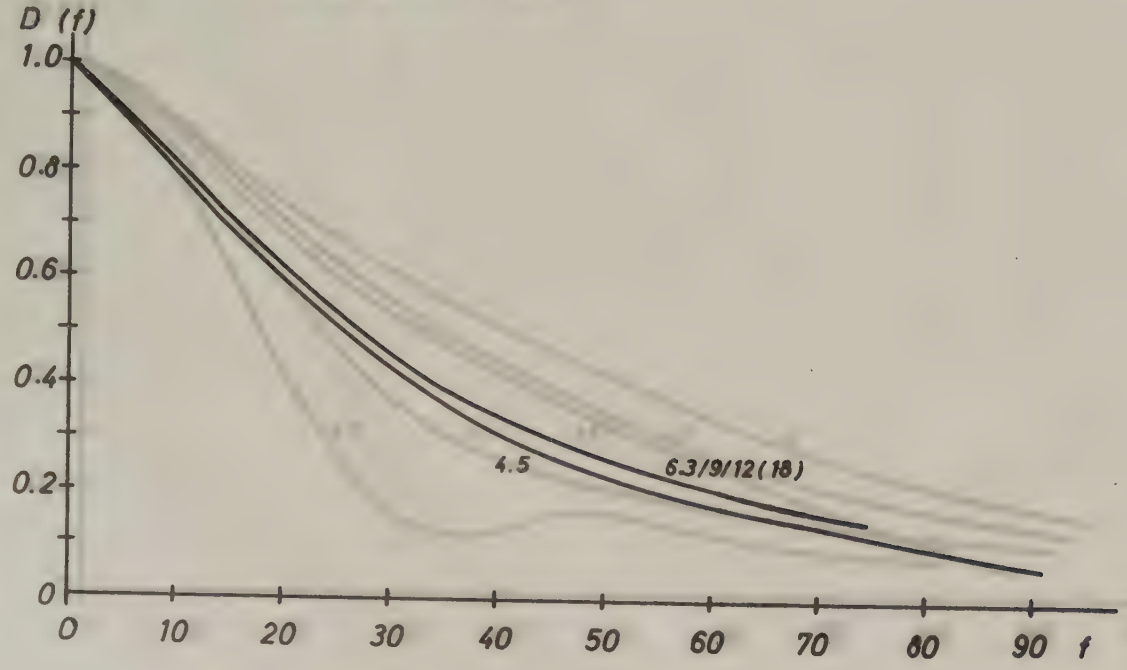
Das gemessene Exemplar (s. S. 145, 146, 147) mit der Öffnung 1 : 4,5 ist nach Angaben der Firma im Jahre 1905 gebaut worden. Man kann in der MÜF die oben zitierten Aussagen bestätigt finden. So ist für alle Blenden das hohe Auflösungsvermögen, das heißt ein langsames Abfallen der MUF, erst bei hohen Frequenzen (mit Ausnahme der Blende 18, bei der ein beugungsbedingtes Absinken festzustellen ist) erkenntlich. Auch besteht - optimale Fokussierung vorausgesetzt - kein so großer Unterschied zwischen den Kurven für die großen Öffnungen und der Kurve für die kritische Blende wie bei den Tessaren. Der Zonenfehler zeigt allerdings immer noch erhebliche Werte, wenn vielleicht auch hier eine kleine Verbesserung festzustellen ist.

Auch die Eignung des Heliars als Allzweckobjektiv ist ersichtlich, jedoch muß hier zusätzlich die Kurvenschar für Blende 4,5 optimal fokussiert herangezogen werden (s. S. 145). Man sieht, daß hier der Beugungsfehler in gleichem Maße zunimmt, wie der Öffnungsfehler zurückgeht. In dieser Stellung ist es also mit allen Blenden als Portraitobjektiv gut geeignet. Eine Veränderung der Blendeneinstellung verändert am Bildvortrag nichts, was am Gleichbleiben der MÜF ersichtlich ist; man kann damit nur die Schärfentiefe in gewünschter Weise beeinflussen. Es ist wohl anzunehmen, daß diese Einstellung (optimale Fokussierung bei Blende 4,5) einen ähnlichen Weichzeichnereffekt hervorruft, wie er im Universal-Heliar durch die Linsenverschiebung erreicht wurde. Auch die besondere Zeichnung des Objektivs könnte in dieser MÜF ihre Erklärung finden. Umgekehrt ist das Heliar bei jeweils optimaler Fokussierung durchaus als Scharfzeichner zu betrachten, der den anderen Objektiven nicht nachstand (s. auch Teil II, S. 200, Vergleich der Triplets).

Mit der stärkeren Verbreitung der Farbphotographie wurde das Heliar besonders auf die Behebung der Farbfehler gezüchtet. So entstand das Color-Heliar (für 6 x 9), bei dem auch am Rande nur wenige Restfehler vorhanden waren, und das Apo-Lanthar, das als spezielles Objektiv für die Ferne farbmäßig über einen breiten Spektralbereich korrigiert ist.

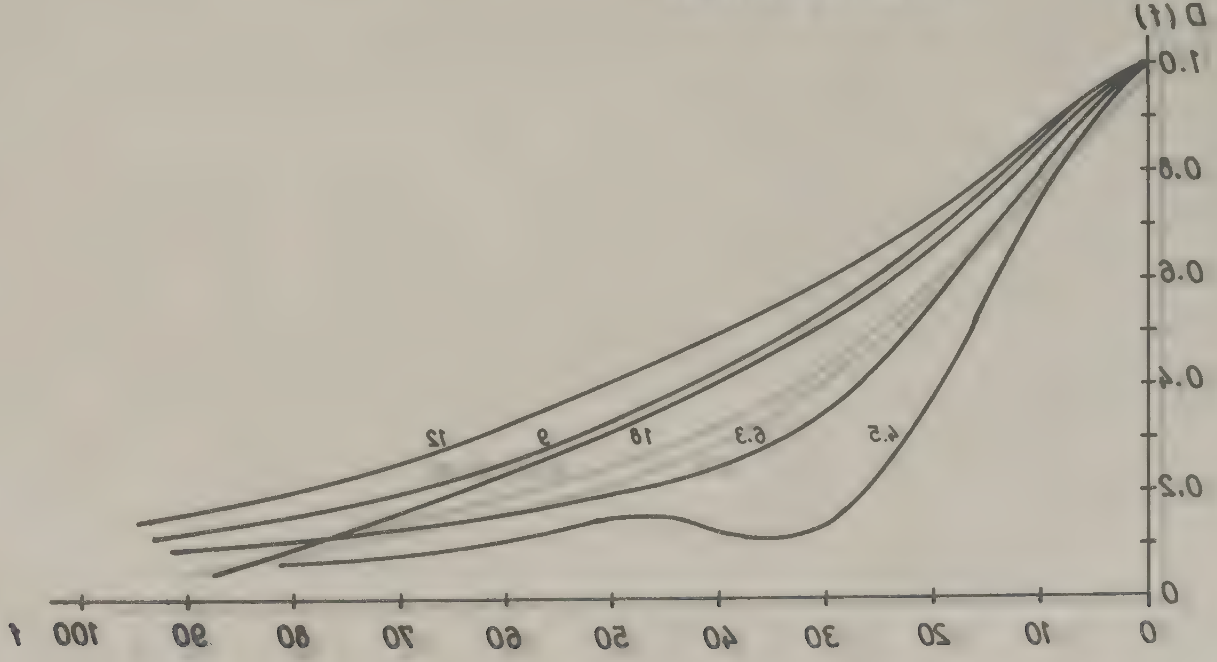
Voigtländer u. Sohn, Braunschweig Heliar 16cm 1:4.5 D.R.P. 124934
Nr. 82324

Bl. 4.5 opt. fok.



Voigtländer u. Sohn, Braunschweig Heliar 16cm 1:4.5 DRP 124934
Nr.82324

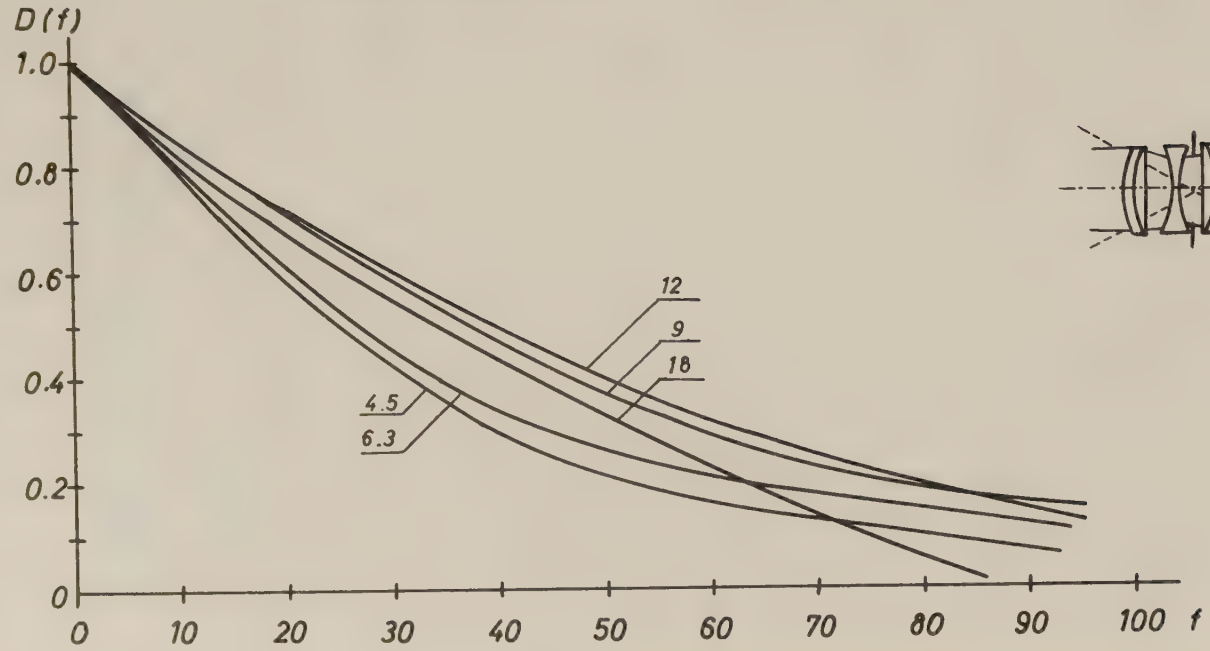
Bl.12 opt. fok.

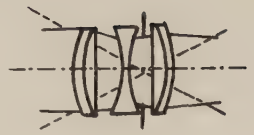


146

Voigtländer u. Sohn, Braunschweig Heliar 16cm 1:4.5 D.R.P. 124934
Nr. 82324

alle Bl. opt. fok.





147

DAS SONNAR

Im Gegensatz zu den beiden letztgenannten Objektiven, die um die Jahrhundertwende entstanden waren, basiert das Sonnar auf einem Patent (DRP 530843) von 1929. Durch das Zusatzpatent DRP 570983 von 1933 wurde es in seine endgültige Form gebracht.

Von L. BERTELE wurde es aus dem Ernostar (DRP 41274 von 1922) entwickelt. Dieses Objektiv war der erste, besonders lichtstarke Anastigmat, mit einer relativen Öffnung von 1 : 2, das die allgemeine Entwicklung zu höchsten Öffnungsverhältnissen einleitete. Man kann es als eine Mischung von Triplet und Gauß-Objektiv (s. S. 160) betrachten, bei dem das Vorderglied die Hälfte eines Gauß-Objektivs mit verkitteter Frontlinse darstellt, das Hinterglied ein in der Zerstreuungslinse durchgeschnittenes Triplet. Mit dieser Anordnung wurde der Zonenfehler, gegen den die Triplets, wie bereits auf Seite 125 erwähnt, besonders anfällig sind, reduziert. Das Ernostar bestand demnach aus 6 Linsen in 4 Gliedern. Aus dem Bestreben, die Anzahl der Glasluftflächen beim Ernostar zu reduzieren, entwickelte BERTELE das Sonnar. Durch Zusammenfassen des zweiten und dritten Gliedes entstand ein Objektiv mit nur drei freistehenden Gliedern, ähnlich dem Tessar. Da es zur damaligen Zeit die Entspiegelung der Linsen noch nicht gab (erst ungefähr ab 1936), wurde durch diese Anordnung die Bildbrillanz bedeutend gesteigert.
Das Öffnungsverhältnis des Sonnars - bei den Kleinbildobjektiven mit 1 : 2 und 1 : 1,5 - ließ sich auf die gleich hohen Werte wie das der Gauß-Objektive bringen und das bei etwas einfacherem Aufbau. Astigmatismus und Verzeichnung sind beim Sonnar allerdings nicht ganz so gut zu beheben, so daß es nur bis zu Bildwinkeln von 45° Verwendung findet. (Eine Abwandlung des Sonnars in Richtung zu größeren Bildfeldwinkeln gelang BERTELE in

dem Biogon - 1 : 2,8, Bildfeldwinkel 63° und später 1 : 4,5, Bildfeldwinkel 90° - das auch als Pate für andere Weitwinkelobjektive stand - z.B. Aviotar der Firma WILD, 1 : 4,2, 60° für Luftbildaufnahmen.

Sonnare wurden und werden auch heute noch für verschiedene Aufnahmeformate und Verwendungszwecke hergestellt. Sie bestehen jeweils aus 3 Linsengruppen, die je nach Öffnungsverhältnis und Bildfeldwinkel aus 4, 5, 6 oder 7 Linsen zusammengesetzt sind. Bei letzterem handelt es sich um das 1 : 1,5, f = 5 cm, den lichtstärksten Typ, bei dem 3 Linsen im 3. Glied verkittet sind (DRP 673860).
Neben den lichtstarken Normalobjektiven für die Contax 1 : 2 und 1 : 1,5, die bereits bei ihrem Erscheinen zu den Spitzenobjektiven der Firma ZEISS gehörten und die seit damals laufend überarbeitet und verbessert wurden, haben sich besonders die langbrennweitigen Sonnare als Portrait und Teleobjektive für das Kleinbild bewährt. Ein Vorteil des Sonnars, der seiner Verwendung in der Kleinbildkamera sehr entgegenkam, ist seine Gedrungenheit und seine kurze Schnittweite. Auf diese Weise verringert sich die Kameralänge,und das Objektiv ragt nicht mehr so weit aus der Kamera heraus. Ein Hineinschieben des Objektivs im Zustand der Nichtbenutzung - was die Sofortbereitschaft der Kamera erheblich stört - kann damit vermieden werden. Ein weiterer Vorteil der kurzen Baulänge zeigt sich besonders bei den Teleobjektiven in einer auffallend geringen Vignettierung. Als Nachteil ist dagegen zu vermerken, daß das Sonnar als Standardobjektiv für Spiegelreflexkameras wegen des kurzen Abstands zwischen Film und Objektiv nicht verwendet werden kann, da der Platz für die Einbringung eines Spiegels zu kurz ist.
Von den vielen Abkömmlingen des Sonnars soll vielleicht neben den Objektiven für Filmkameras das Röntgen-

Sonnar (1 : 1,5) und eine neuere Patentschrift aus dem Jahre 1949 erwähnt werden (DRP 835202), die durch Einführung der neuen hochbrechenden Gläser eine Verbesserung des Sonnars bis zu einer Öffnung von 1 : 1,4 bei einem Bildfeldwinkel von 45° bringt. Auch dieses Objektiv stammt von BERTELE.

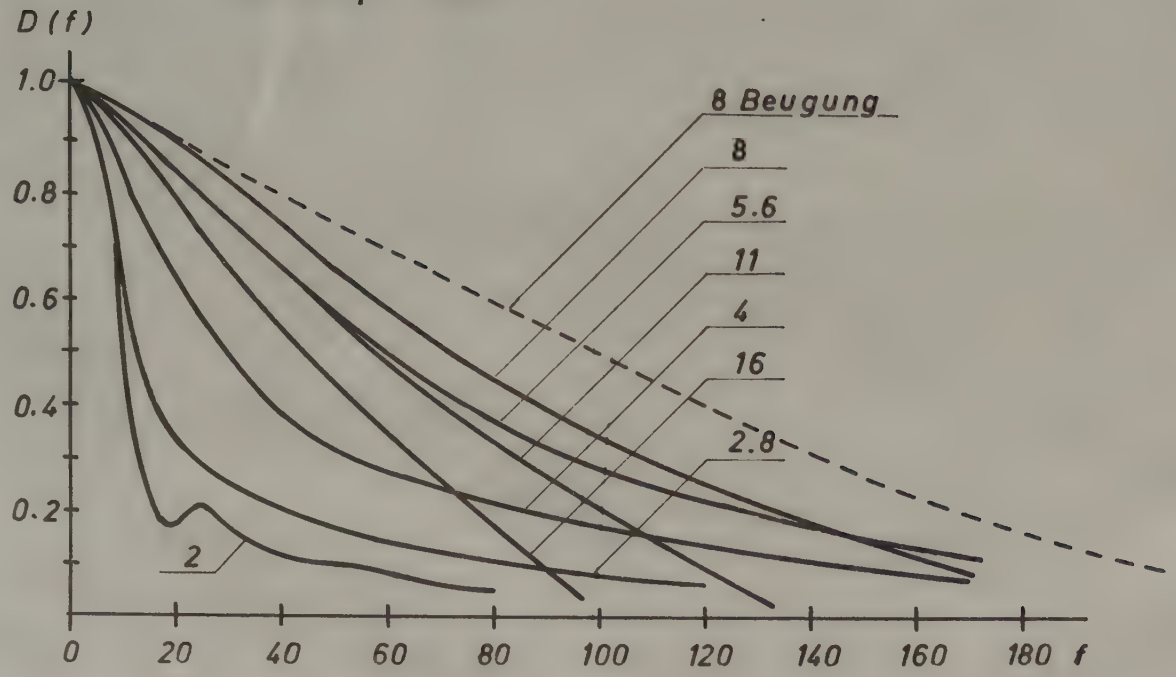
Das wohl bekannteste Sonnar war das Universal-Objektiv für die Contax, mit dem Öffnungsverhältnis 1 : 2, f = 5 cm und einem Bildfeldwinkel von 45°. Das Objektiv besteht aus 6 Linsen (s. Abb. S. 153). Ein derartiges, das sich im Besitz des Verfassers befindet und ungefähr aus dem Jahre 1941 stammt, wurde gemessen (s. S. 152, 153, 154). Die MÜF reicht,der kurzen Brennweite entsprechend,bis zu großen Frequenzen und zeigt die gute Leistung des Objektivs für mittlere Blenden. Auf S. 152 ist zum Vergleich mit der kritischen Blende 8 die MÜF aufgetragen, die bei dieser Blende der reinen Beugung entspricht. Für die großen Öffnungen fällt die MÜF jedoch stark ab. Sie kann deshalb die Behauptung von HARTING (112), "die Bildschärfe sei bei voller Öffnung so ausgeglichen, daß sie sich beim Abblenden kaum verändert", nicht bestätigen, wenn man für jede Blende optimal fokussiert. (Messungen an einem anderen Exemplar des gleichen Typs zeigten allerdings bei ungefähr gleichem Verhalten der anderen Blenden bei Blende 2 und Blende 2,8 einen deutlich günstigeren Verlauf der MÜF. Die Kurven sind jedoch hier nicht angegeben, da die Messungen wegen einer ungenauen Objektivfassung schlecht reproduzierbar waren.) Die Behauptung von HARTING wäre dann bestätigt, wenn man bei voller Öffnung scharf stellt und dann die Blende verändert (s. S. 154). Die Unterschiede dieser Kurven (s. S. 154) gegenüber jenen für optimale Fokussierung (s. S.153) oder für die Fokussierung bei der kritischen Blende 8 (s. S. 152) zeigen sehr deutlich den vorhandenen Zonen-

fehler (die Einstelldifferenz zwischen Blende 2 optimal fokussiert und Blende 8 optimal fokussiert beträgt 0,26 mm!).

Als weiteres Sonnar wurde ein Schmalwinkel-Sonnar 1 : 4 f = 135 mm mit 4 Linsen (s.Abb. S. 156) und einem Bildwinkel von 20° gemessen (s. S. 155, 156), das als Fernobjektiv für die Contax Verwendung findet. Dieses Objektiv, das im Gegensatz zu fast allen anderen in dieser Arbeit gemessenen aus der heutigen Produktion stammt, zeigt nur geringe Zonenfehler und hat auf der Achse fast dieselbe Leistung wie das Standardobjektiv von S. 153. Das Objektiv wurde uns freundlicherweise von der Firma ZEISS zur Verfügung gestellt.

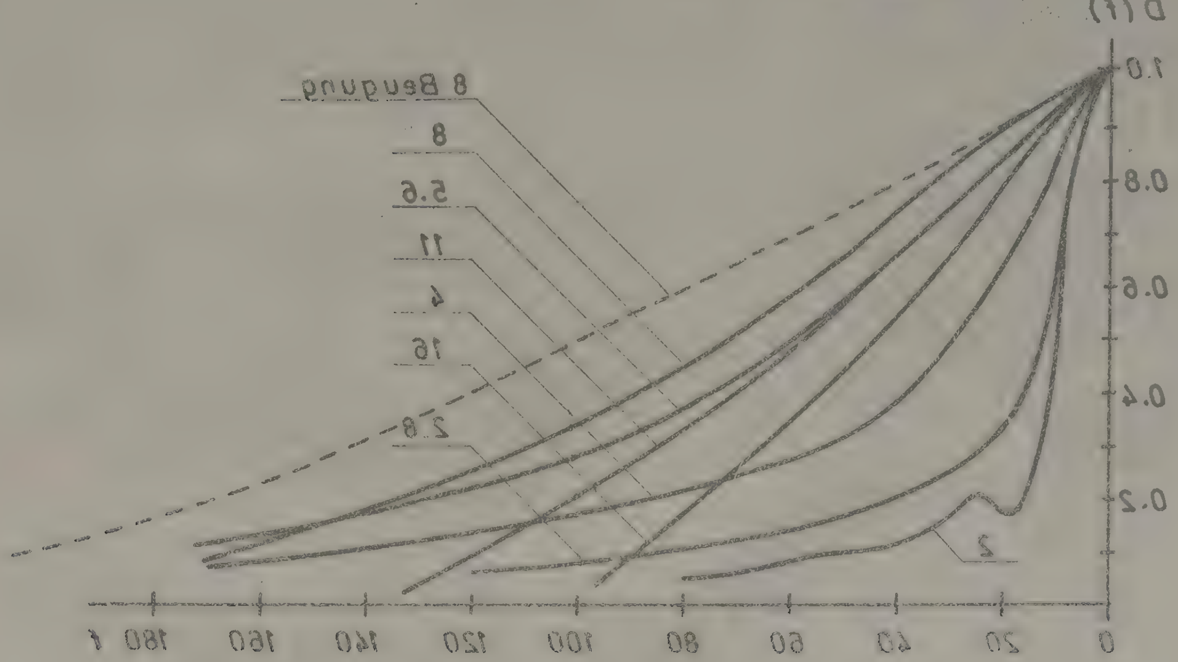
Carl Zeiss Jena Nr. 3096481 Sonnar 1:2 f = 5cm

Bl. 8 opt. fok.



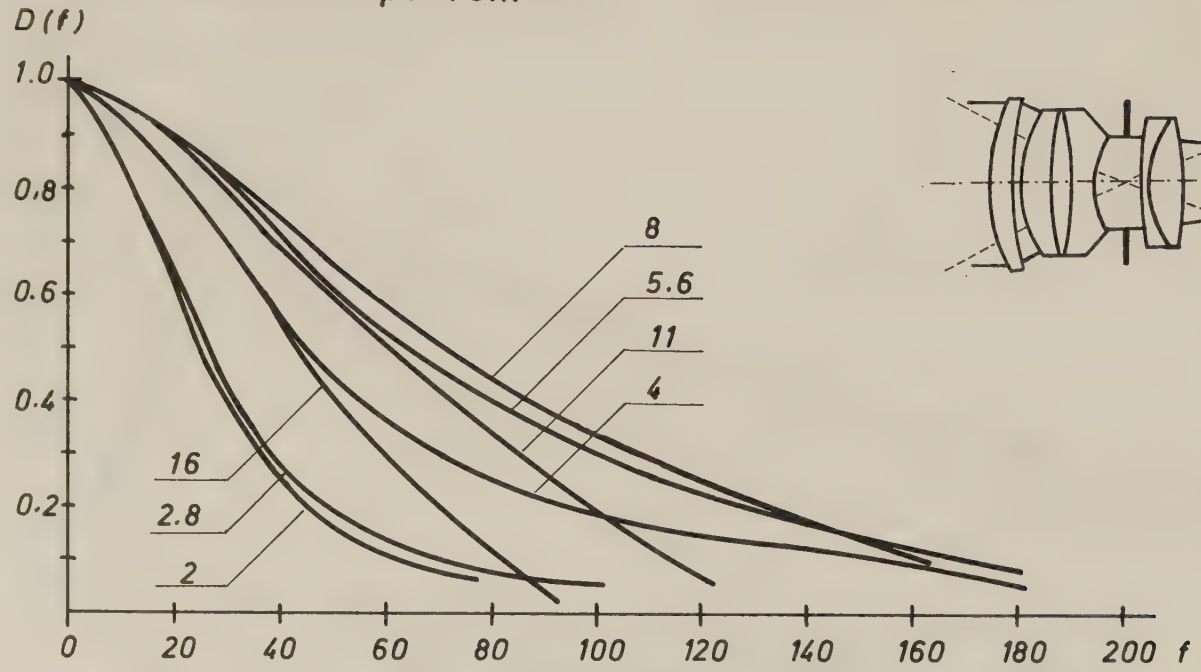
Carl Zeiss Jena Nr. 3096481 Sonnar 1:2 f=5cm

Bl. 8 opt. fok.



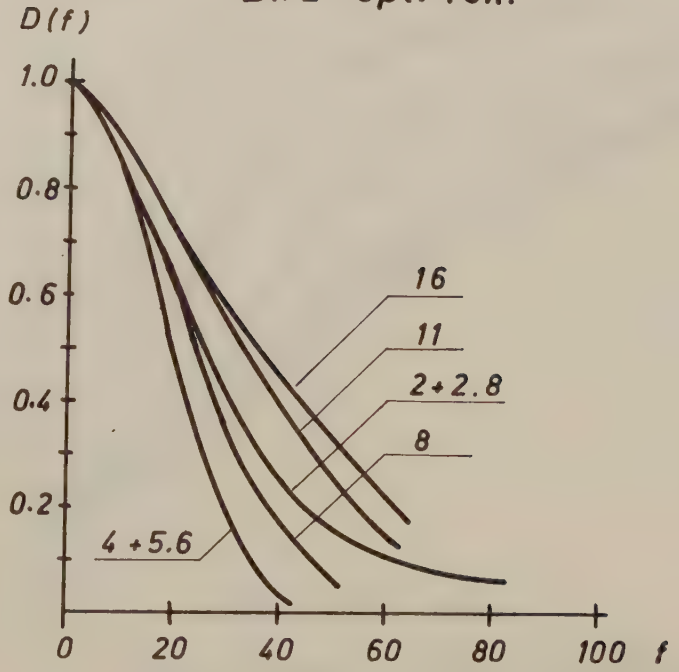
Carl Zeiss Jena Nr.3096481 Sonnar 1:2 f=5cm

alle Bl. opt. fok.



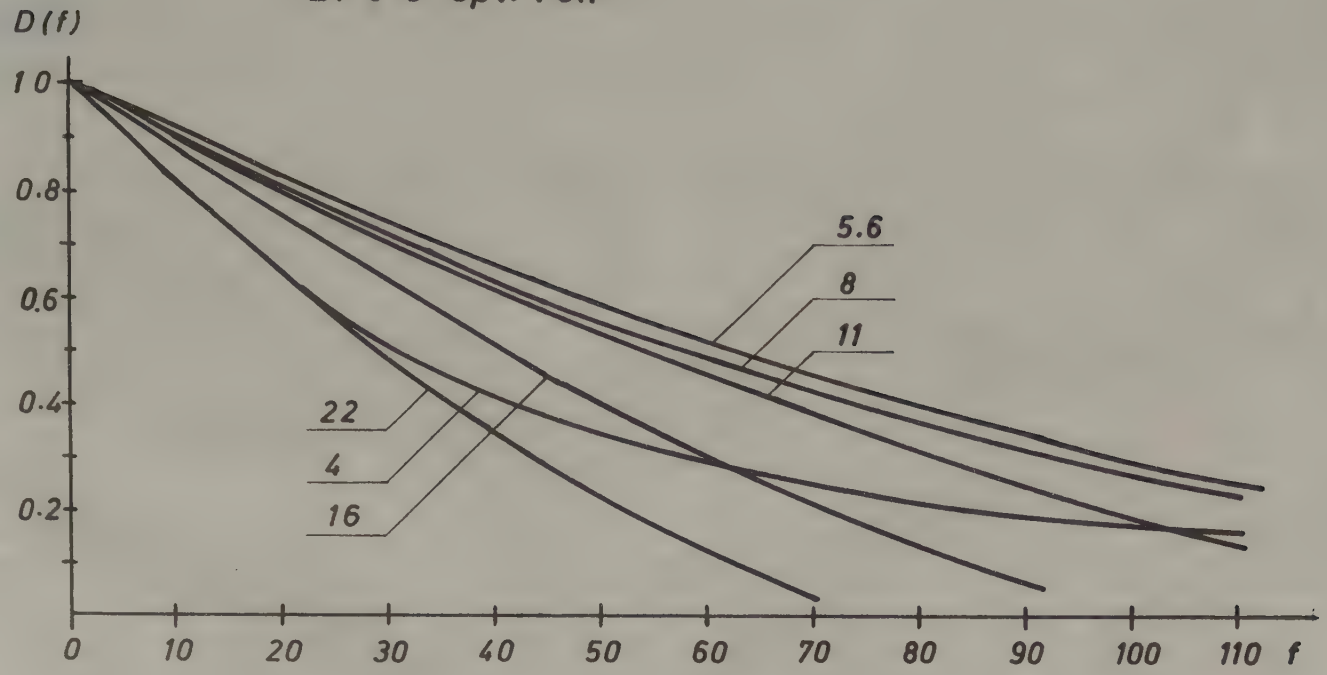
Carl Zeiss Jena Nr. 3096481 Sonnar 1:2 f = 5 cm

Bl. 2 opt. fok.



Carl Zeiss Nr. 2287967 Sonnar 1:4 f = 13.5 cm

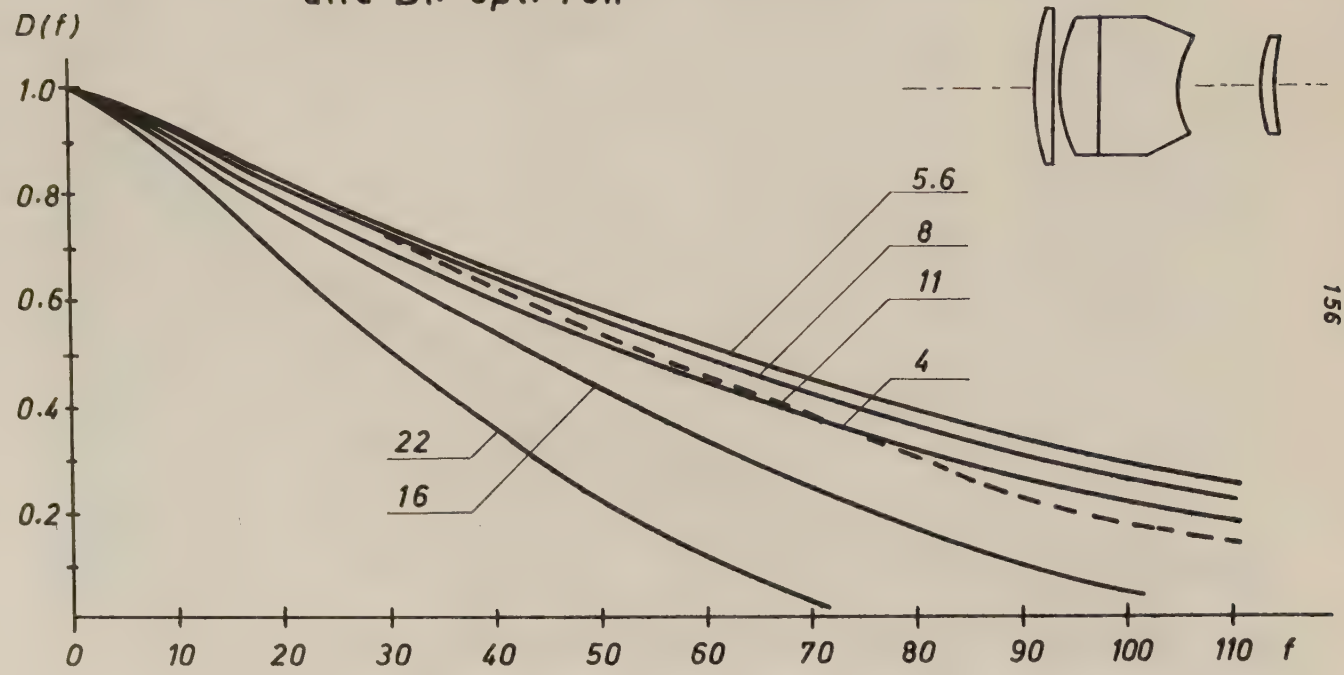
Bl. 5.6 opt. fok.



Coal Tar in Sand Column 1:1 t = 13.2 cm
Bl. 2.5 opt. Lsm.
D(t)
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
t
2.5
8
11
15
4
22

Carl Zeiss Nr. 2287967 Sonnar 1:4 f = 13.5cm

alle Bl. opt. fok.



DAS HEKTOR

Ein weiterer Tripletabkömmling ist das Hektor der Firma LEITZ (DRP 526308) von 1930/31, das für die Kleinbildphotographie in verschiedenen Varianten vom Weitwinkel bis zum Teleobjektiv gebaut worden ist und auch als Projektionsobjektiv Verwendung findet. Es wurde mit 4,5 und 6 Linsen hergestellt. [1]

Besonders bekannt durch seine Schärfe und seinen Bildkontrast war das Hektor 1 : 4,5 f = 135 mm, ein Teleobjektiv mit einem Bildwinkel von 18°, das erstmals 1937 gefertigt wurde. Mit der Herstellung dieses Typs in größeren Stückzahlen wurde allerdings erst im Jahre 1946 begonnen. Er wurde bis vor einigen Jahren gebaut und ist jetzt von dem Elmar und Tele-Elmar derselben Firma abgelöst.
Die MÜF eines solchen Hektors (s. S. 158, 159) zeigen einen ähnlichen Verlauf wie die des Tele-Sonnars (s. S. 155, 156), nur jeweils mit etwas geringerem Kontrast. Ein Zonenfehler ist praktisch nicht vorhanden. Das gemessene Objektiv stammt aus dem Jahre 1956. Es wurde uns freundlicherweise von der Firma LEITZ zur Verfügung gestellt.

---

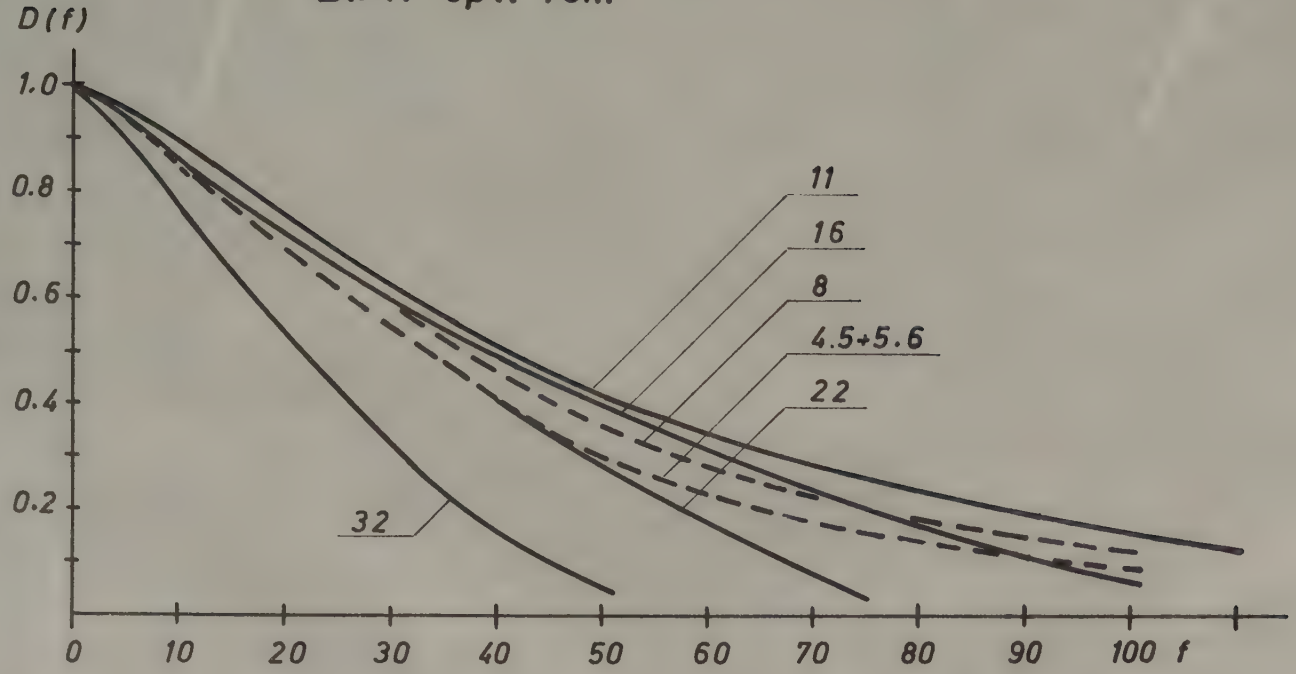
[1] 4 Linsen s. S. 159 z.B. 1 : 2,5/125 mm;
1 : 4,5/135 mm

5 Linsen DRP 526307, aus 2 sammelnden Kittgliedern und einem bikonkaven Zerstreuungsglied bestehend, als Weitwinkel für die Leica 1 : 6,3 f = 28 mm 76°

6 Linsen, die ursprüngliche Fassung des Hektors mit 1 : 1,9

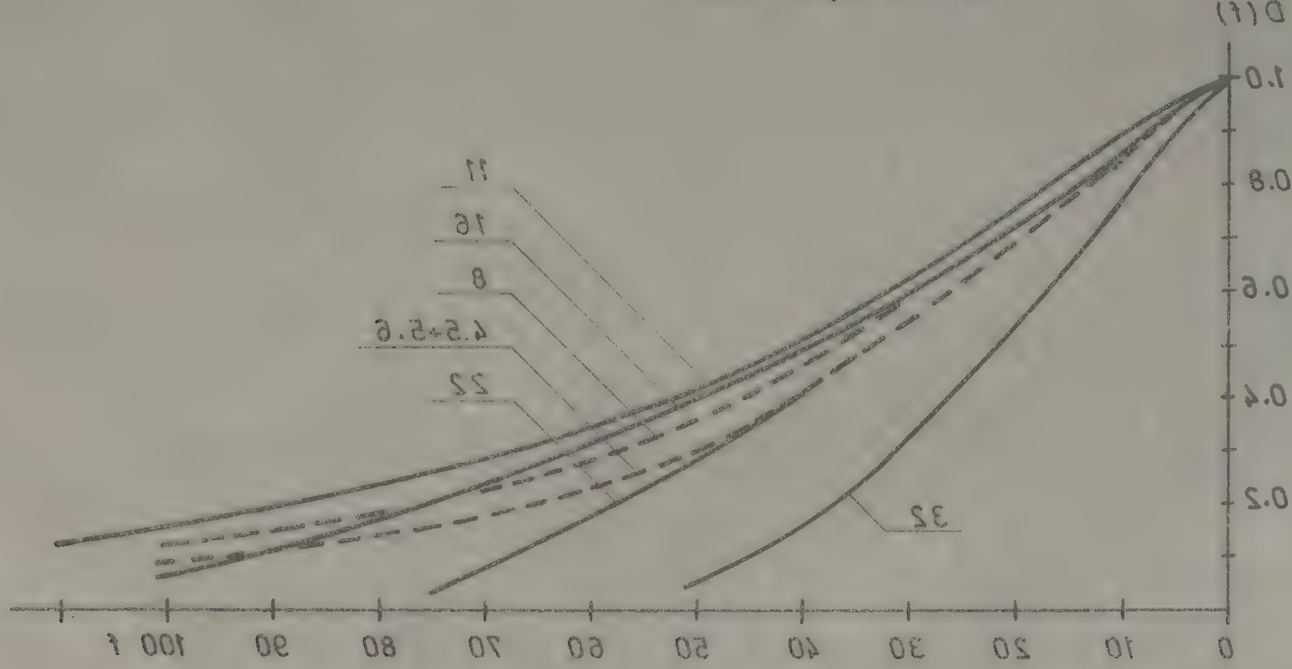
Leitz Nr. 1347324 Hektor 1:4.5 f = 13.5cm

Bl. 11 opt. fok.



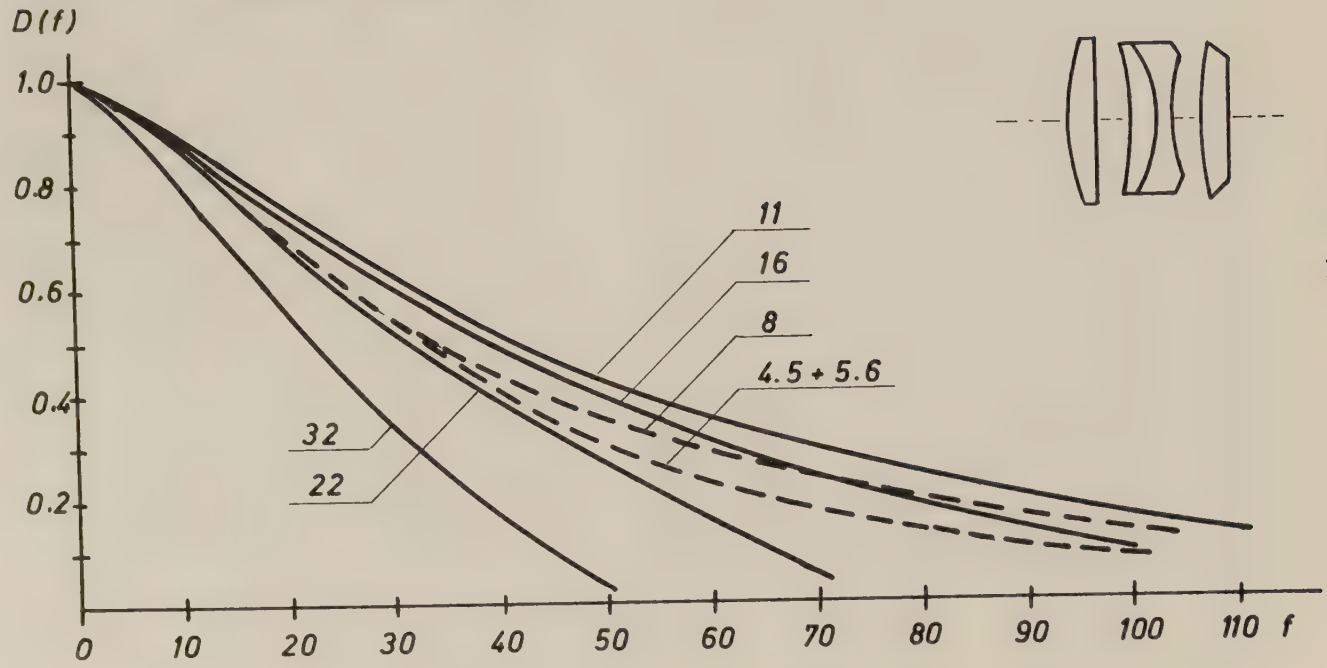
Leitz Nr.1347324 Hektor 1:4.5 f = 13.5cm

Bl. 11 opt. fok.



Leitz Nr. 1347324 Hektor 1:4.5 f = 13.5 cm

alle Bl. opt. fok.



DIE ANASTIGMATE VOM GAUSS-TYP

Die fünf folgenden gemessenen Objektive gehören zu der Gruppe der GAUSS-Objektive, aus denen die heutigen Spitzenprodukte, sowohl bezüglich höchster Öffnung als auch bezüglich großer Bildwinkel hervorgegangen sind. Die Behebung der Restfehler ist bei den Triplets nicht in dem Maße möglich wie bei den oben erwähnten Abkömmlingen der GAUSS'schen Doppelobjektive. Die Bezeichnung GAUSS-Typ für diese Objektive stammt daher, daß ihre Hälfte in Anlehnung an einen von GAUSS für Fernrohre vorgeschlagenen 2-linsigen Objektiv-Typ entstanden sind. Dieser besteht aus zwei stark durchgebogenen, meniskenförmigen Linsen aus Flint- und Kronglas. Er liefert außer der Achromasie des Farbortes auch die Aufhebung des Öffnungsfehlers für zwei Farben, so daß die sogenannte farbige Differenz des Öffnungsfehlers behoben ist. (GAUSS-Bedingung oder apochromatische Korrekturbedingung.)

DAS PLANAR VON ZEISS

Die Idee, jeder Objektivhälfte eines Doppelanastigmaten die Form des GAUSS-Objektives zu geben, um damit ein ganz lichtstarkes Objektiv mit anastigmatischer Bildfeldebnung herzustellen, stammt wiederum von RUDOLPH. Er konstruierte 1896 das Planar von ZEISS, DRP 92313, mit einem Bildfeld von 50° und einer Öffnung von 1 : 3,3 (s.Abb. S. 164).
Der Gedanke, die chromatischen Fehler möglichst zu beheben, stand bei dieser Konstruktion jedoch nicht im Vordergrund. Die chromatische Korrektur geschah erst nach der Durchkonstruktion unter Berücksichtigung der anderen Fehler und wurde durch folgenden Kunstgriff erreicht: Um dem der Blende zugekehrten Meniskus, für den RUDOLPH als günstigsten Brechwert den von 1,57 berechnet hatte, die nötige Farbzerstreuung zu geben,

wurde er als hyperchromatische Zerstreuungslinse ausgeführt. Diese hyperchromatische Zerstreuungslinse - auch eine Erfindung RUDOLPHs, die er ein halbes Jahr zuvor getätigt hatte - erlaubt durch Verbindung zweier gleichbrechender Gläser unterschiedlicher Farbzerstreuung eine Herstellung von Linsen der vorgeschriebenen äußeren Form mit beliebig wählbarer Farbzerstreuung. Da die Kittfläche nur chromatisch wirksam ist, sind an ihre Ausführung auch nicht die höchsten Ansprüche zu stellen.

Die Entstehung des Planar kann man auch aus einem Doppelanastigmat ableiten, der aus zwei dicken verkitteten Menisken besteht. Hier hat die erste Fläche den Großteil der Brechkraft zu liefern; sie muß daher stark gekrümmt sein, was die Behebung des Öffnungsfehlers erschwert. Die Folge davon ist das beschränkte Öffnungsverhältnis der Doppelanastigmate. Spaltet man nun von dieser ersten Fläche einen Teil der Brechkraft ab und überträgt diese auf eine eigene Linse, so ist die Brechkraft statt auf eine auf drei Flächen verteilt. Die Brechungswinkel gehen auf etwa 1/3 zurück, so daß Öffnungs- und Zonenfehler sehr klein gemacht werden können. Auf diese Weise kann man zu dem vorhandenen großen Öffnungsverhältnis kommen.

Bei dem so erhaltenen GAUSS-Objektiv macht man, im Gegensatz zum Fernrohrobjektiv, die Dicke der Linsen möglichst groß, um dadurch eine Verminderung der Petzvalsumme zu erreichen (s. auch die Korrektur beim Hoegh'schen Meniskus, S. 85). Der Astigmatismus wird durch die Blendenstellung behoben (s. S. 58) und das Gegenüberstellen der beiden gleichen Hälften zu einem symmetrischen Objektiv läßt auch die Verzeichnung verschwinden. Die Koma im Teilglied ist allerdings recht groß und läßt sich, besonders für unendlich entfernte Objekte, auch durch die symmetrische Gegenüberstellung im Gesamtobjektiv nicht völlig beheben. Dagegen kann die Kittfläche in

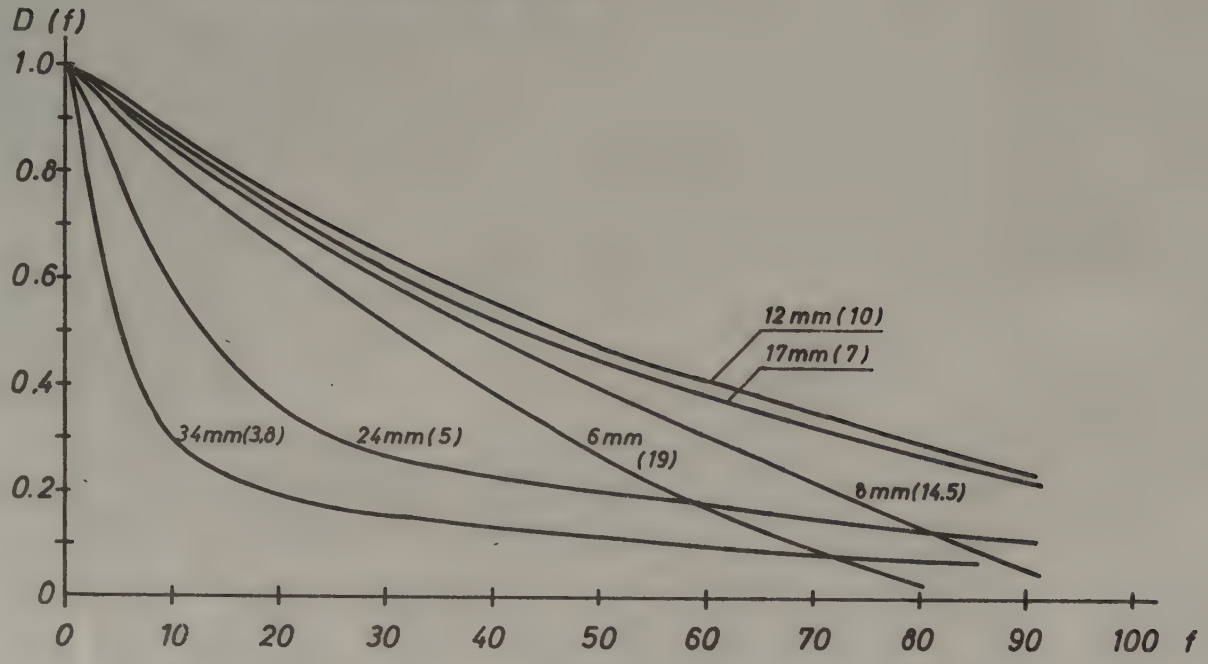
der Zerstreuungslinse, die das RUDOLPH'sche Protar hatte, durch Verwendung eines geeigneten Glases vermieden werden, so daß das GAUSS-Objektiv nur noch aus 4 zur Blende konkaven Menisken besteht (s. auch die beiden nächsten Objektivbeispiele).

Je nachdem, ob dabei die Sammellinse außen oder innen zu stehen kommt, gibt es zwei Möglichkeiten: bei außenstehender Sammellinse hat man den ursprünglich beim Planar eingeführten Gaußtyp, der besonders nach Einführung der Antireflexbeläge zu größten Öffnungen und vorzüglicher Bildgüte innerhalb eines mittleren Bildwinkels weiterentwickelt worden ist. Bei innenstehender Sammellinse bekommt man den zweiten lichtschwächeren Gaußtyp, der aber infolge weitgehender Behebung der Abbildungsfehler innerhalb eines großen Bildwinkels zu einem neuen Weitwinkelobjektiv entwickelt werden konnte. Bei diesen beiden Gruppen von neueren Objektiven der Spitzenklasse ist jedoch von der völligen Symmetrie abgegangen worden. Auch die Anzahl der verwendeten Linsen ist bis auf 7 oder noch mehr angestiegen. Zwei Beispiele hierfür sind in den Objektiven Summicron (s. S. 174) und Heligon (s. S. 178) zu finden. Einzelheiten über weitere Objektive sind in der angegebenen Literatur zu finden.
Das hier gemessene Planar 1 : 3,8 wurde etwa 1903 gebaut und zeigt im abgeblendeten Zustand eine ausgezeichnete Leistung (s. S.163, 164). Es hat die beste MÜF von allen gemessenen Objektiven, wie auch aus der Vergleichsmessung in Teil II (s.S. 201) ersichtlich ist. Mit zunehmender Öffnung fällt die MÜF jedoch stark ab, was wegen des hohen Wertes bei der kritischen Blende besonders auffällt. Die Zonenfehler sind gegenüber den Triplets sehr stark reduziert, so daß ein Nachfokussieren für jede Blende in der Praxis wohl nicht nötig war.

Die Nachkommen dieses Planars gehören auch heute noch für Film, Kleinbild und größere Formate zu den bekanntesten GAUSS-Typen und finden vielfach Verwendung.

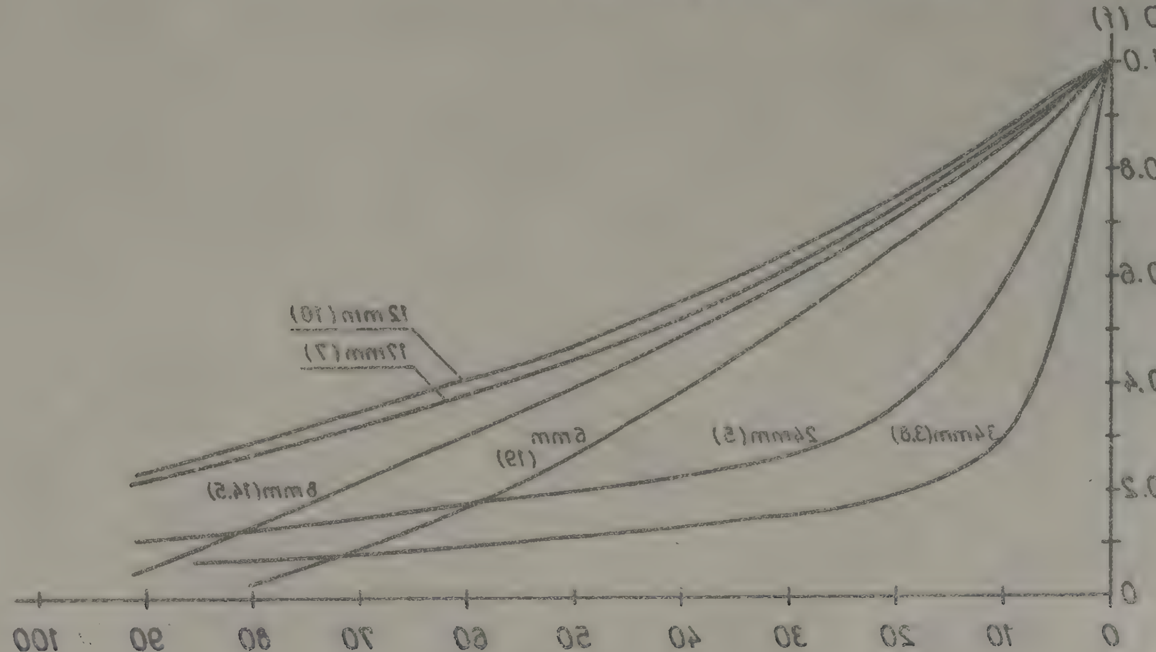
Carl Zeiss Jena Nr. 72009 Planar 1:3,8 f=160mm D.R.P. 92313

Bl. 12 mm (10) opt. fok.



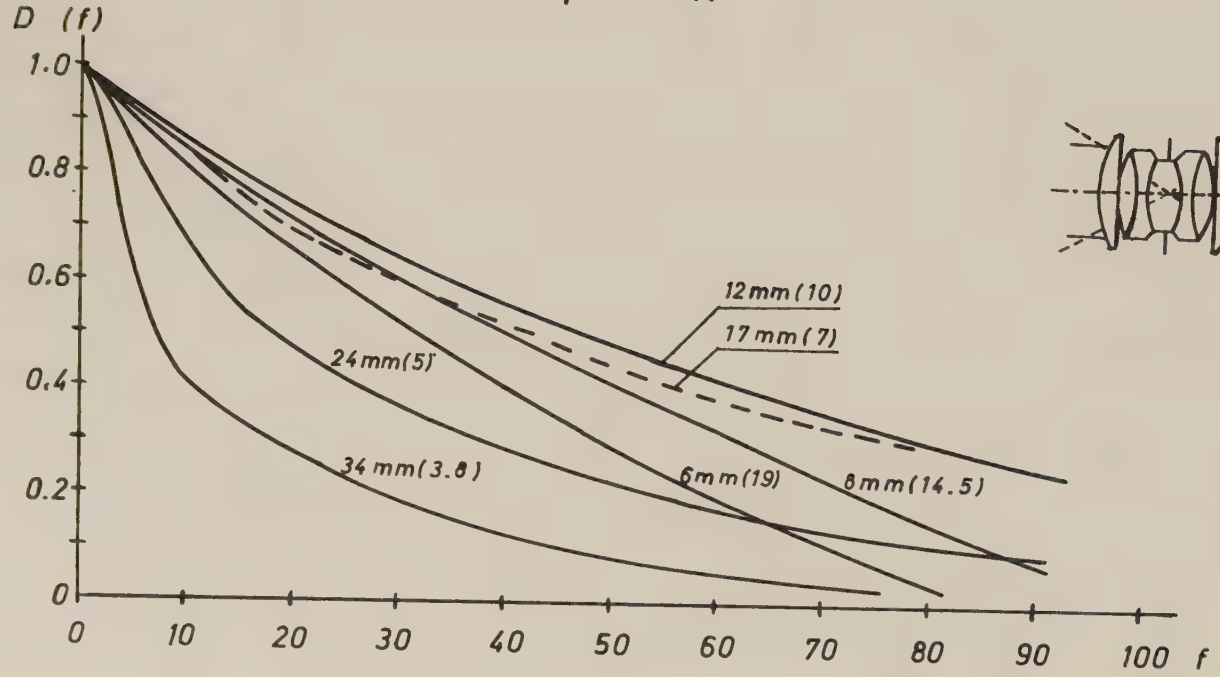
Carl Zeiss Jena Nr. 72009 Planar 1:3,8 f=160mm D.R.P. 92313

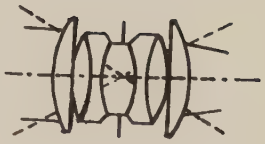
Bl. 12mm (10) opt. fok.



Carl Zeiss Jena Nr. 72009 Planar 1:3.8 f=160mm D.R.P. 92313

alle Bl. opt. fok.





DER ARISTOSTIGMAT VON HUGO MEYER

Bereits beim Planar wurde erwähnt, daß es möglich ist, die hyperchromatische Zerstreuungslinse durch eine einzige aus geeignetem Glas zu ersetzen. Einige Jahre nach der Herausgabe des Planars gelang es dann auch F. KOLLMORGEN, das GAUSS-Objektiv unter Beibehaltung seiner anastigmatischen Korrektion mit nur zwei Linsen in der Objektivhälfte zu achromatisieren. Es ist dazu nötig, die beiden Linsen der einzelnen Hälfte aus den Gläsern eines Neuachromaten herzustellen, so daß die Brechzahl des sammelnden Meniskus bei kleinerer Farbzerstreuung mindestens so groß ist wie die der zerstreuenden Menisken. Dieses Objektiv (s.Abb. S. 170) wurde 1900 von Hugo MEYER u. Co. in Görlitz unter dem Namen Aristostigmat herausgebracht. Es wurden davon mehrere Serien mit kleinen Abweichungen von der symmetrischen Form gebaut. Bei diesem GAUSS-Typ war die Bildfeldwölbung besonders gut korrigiert, auch die Verzeichnung war nur gering. Eine typische Eigenschaft des Aristostigmaten, der sich lange Zeit großer Beliebtheit erfreute, war das beim Abblenden starke Anwachsen des brauchbaren Bildfelds, so daß das Objektiv auch für größere Formate als leichter Weitwinkel verwendet werden konnte (Bildfeldwinkel bis etwa 70°). Allerdings fiel die Leuchtdichte am Rand infolge der größeren Vignettierung stark ab.

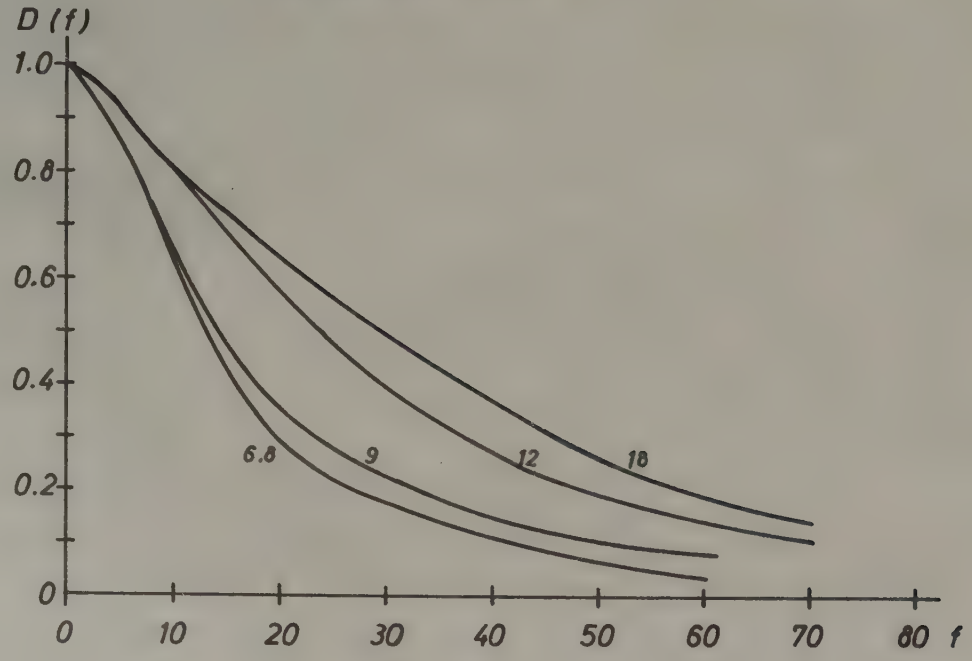
Vom Aristostigmaten wurden zwei Exemplare gemessen, ein drittes im Zuge der Vergleichsmessungen zwischen RODENSTOCK, der P.T.B. und dem INSTITUT für medizinische Optik (s. S. 38). Das erste mit einer Öffnung von 1 : 6,8 (s. S. 167, 168) zeigt wie das Planar eine starke Verbesserung der MÜF beim Abblenden. Die kritische Blende liegt bei 18, also schon recht hoch im Vergleich

zum Planar, dessen kritische Blende bei ungefähr gleicher Brennweite bei 9 lag. Zur Erzielung der besten Leistung des Objektivs sind daher erheblich längere Belichtungszeiten nötig. Wie beim Planar ist auch hier der Zonenfehler sehr klein. Die MÜF für offene Blende zeigt einen für Portraitaufnahmen günstigen weichzeichnerartigen Verlauf.

Das zweite Objektiv mit einer Öffnung von 1 : 4 (s. S. 169, 170) verhält sich ähnlich, nur liegen hier wegen der kürzeren Brennweite alle Kontraste höher. Auch die kritische Blende liegt bei Blende 9 in einem günstigeren Bereich.

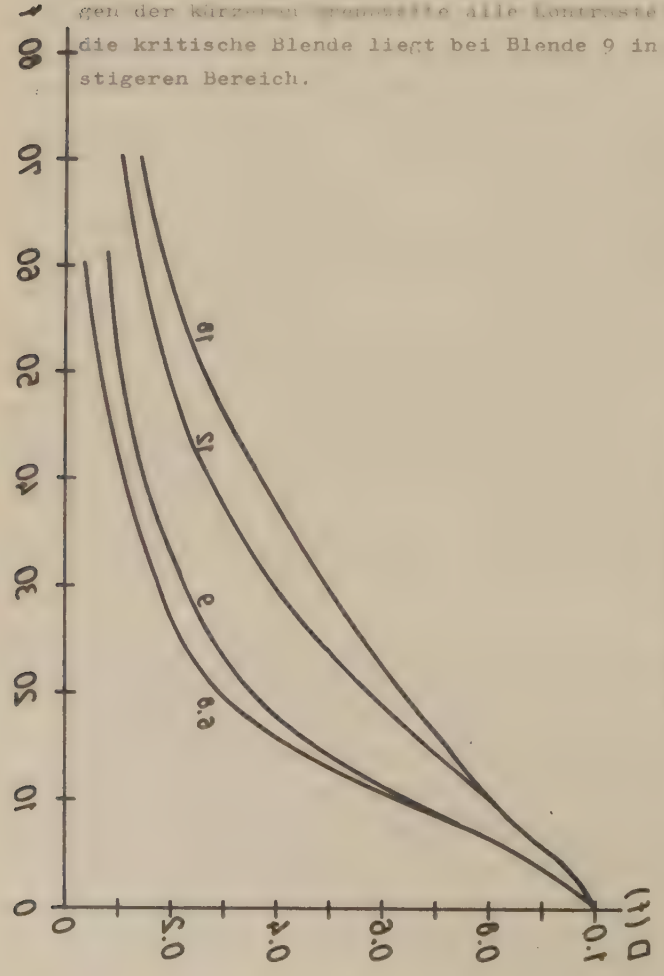
Hugo Meyer & Co Nr. 37999 Aristostigmat f:6.8 f=150mm

Bl.18 opt. fok.



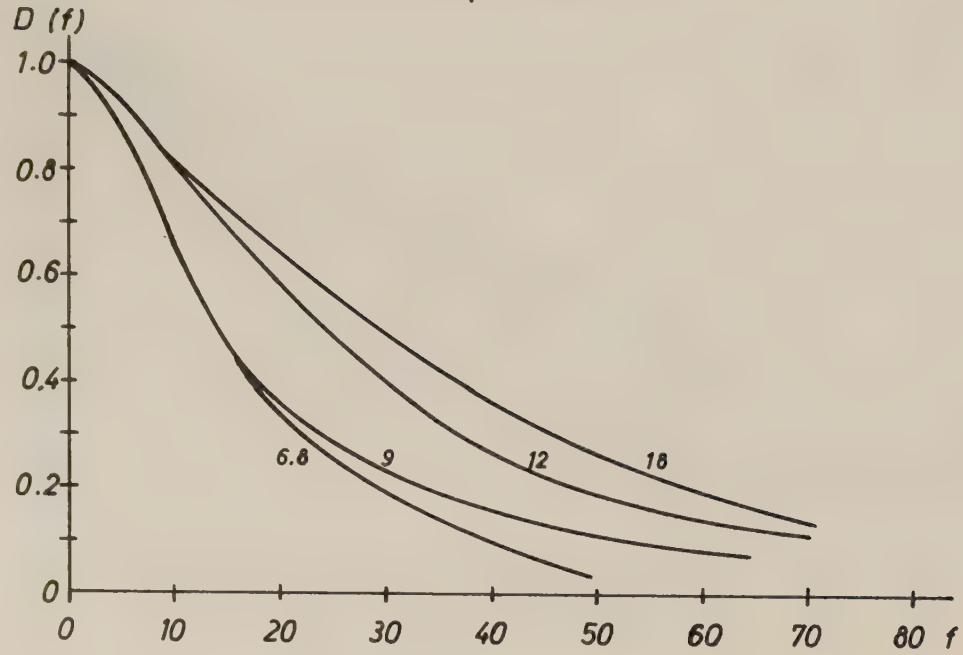
zum Planar, dessen kritische Blende bei ungefähr gleicher Brennweite bei 9 liegt. Zur Erzielung der besten Leistung des Objektivs sind daher erheblich längere Belichtungszeiten nötig. Wie beim Planar ist auch hier der Zonenfehler sehr klein. Die MÜF für offene Blende zeigt einen für Portraitaufnahmen günstigen weichen, zeichnerartigen Verlauf.

Das zweite Objektiv mit einer Öffnung von 1 : 4 (S. 169, 170) verhält sich ähnlich, nur liegen hier wegen der kürzeren Brennweite alle Kontraste höher. Auch die kritische Blende liegt bei Blende 9 in einem günstigeren Bereich.



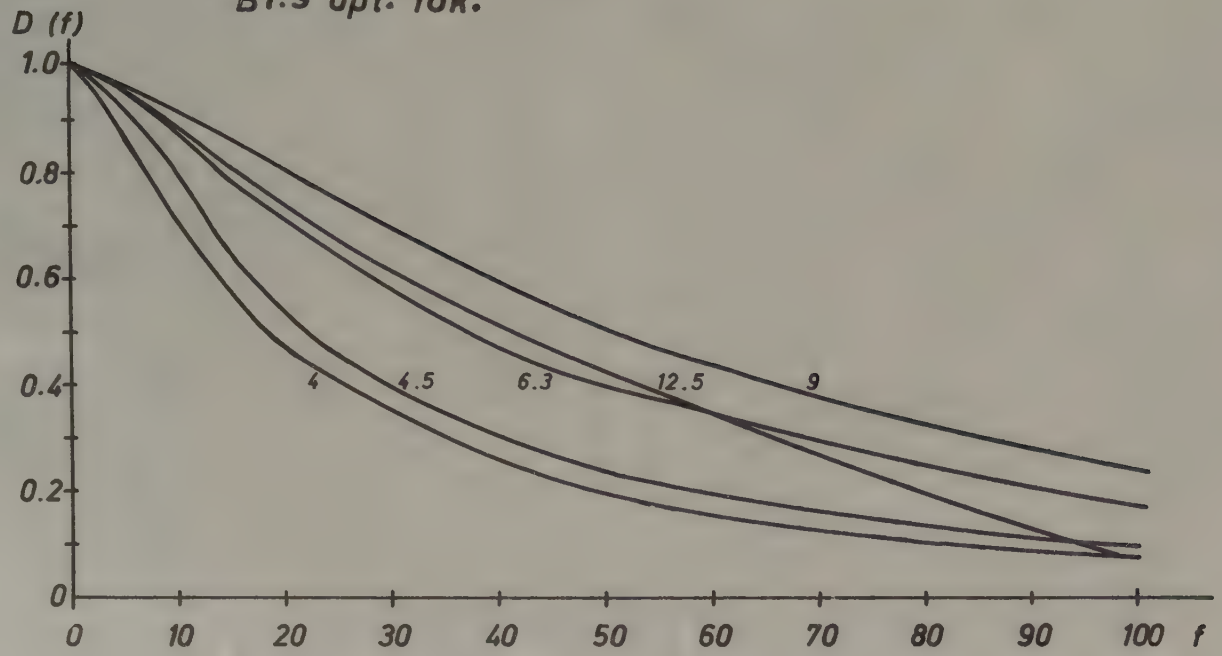
Hugo Meyer & Co Nr.37999 Aristostigmat f:6.8 f=150 mm

alle Bl. opt. fok.



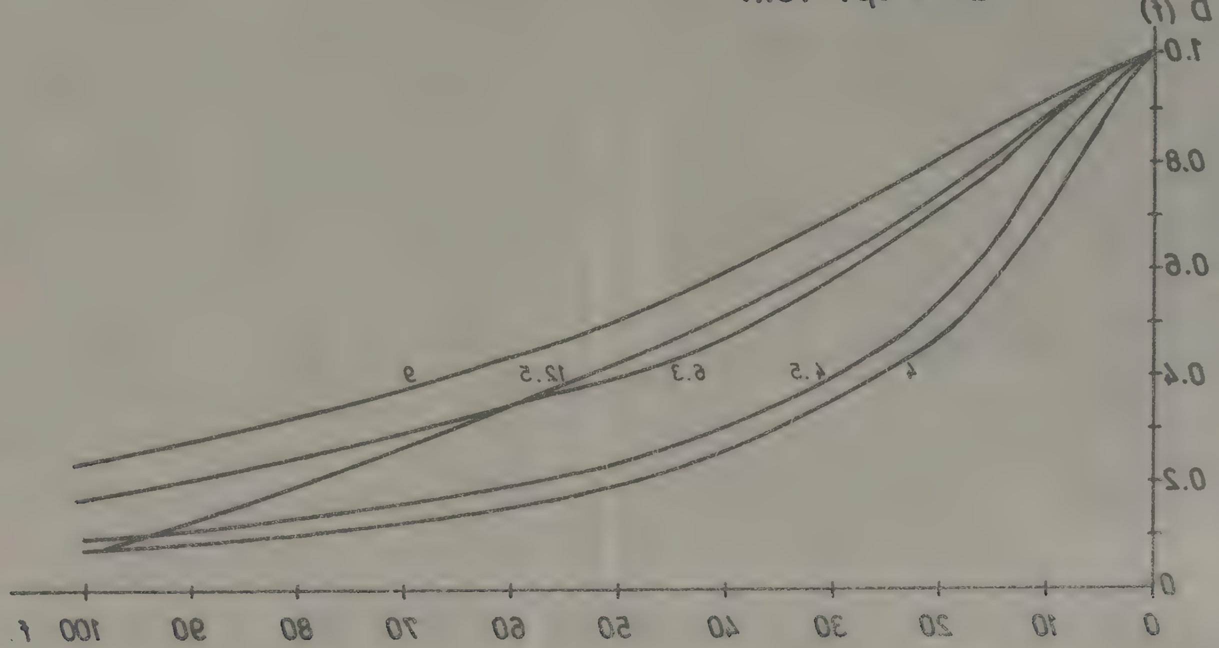
Hugo Meyer & Co, Goerlitz Nr.421467 Aristostigmat 1:4 f=7.5cm

Bl.9 opt. fok.

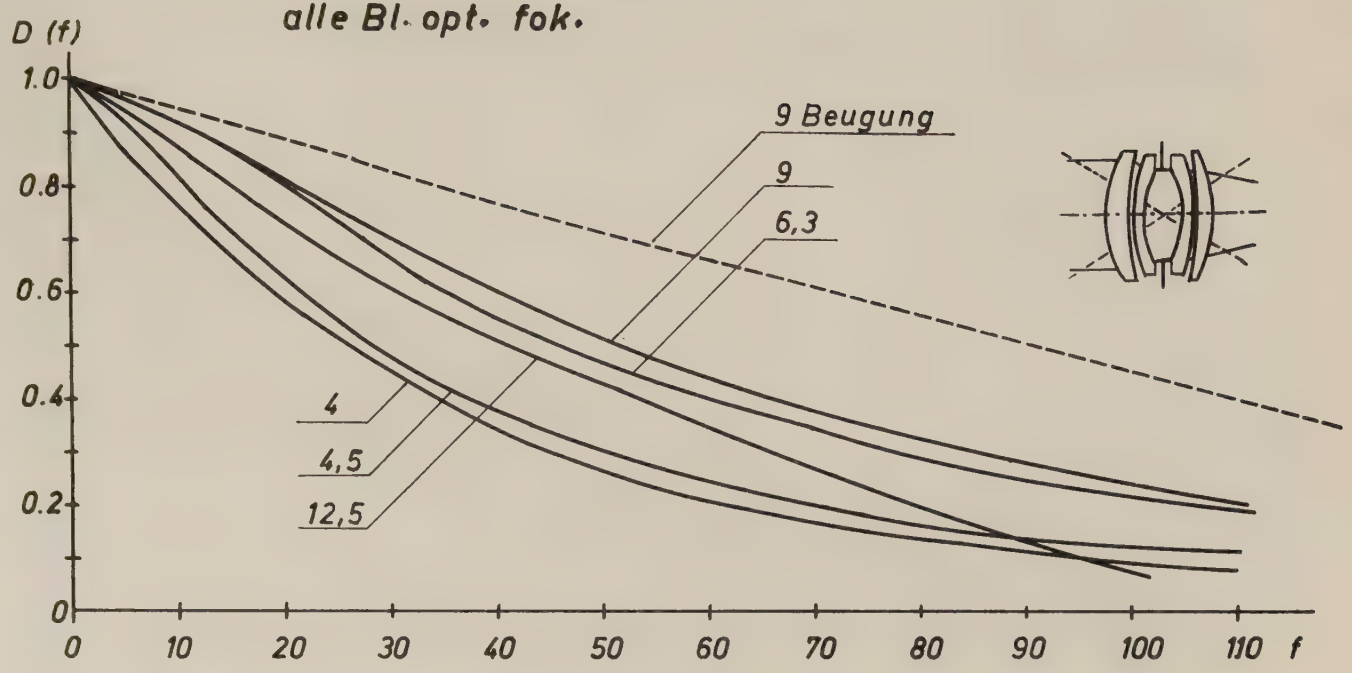


Hugo Meyer & Co, Goerlitz Nr.421467 Aristostigmat 1:6 f=7.5cm

Bl.9 opt. fok.



Hugo Meyer & Co, Goerlitz Nr. 421467 Aristostigmat 1:4 f=7.5 cm



DAS OMNAR VON BUSCH

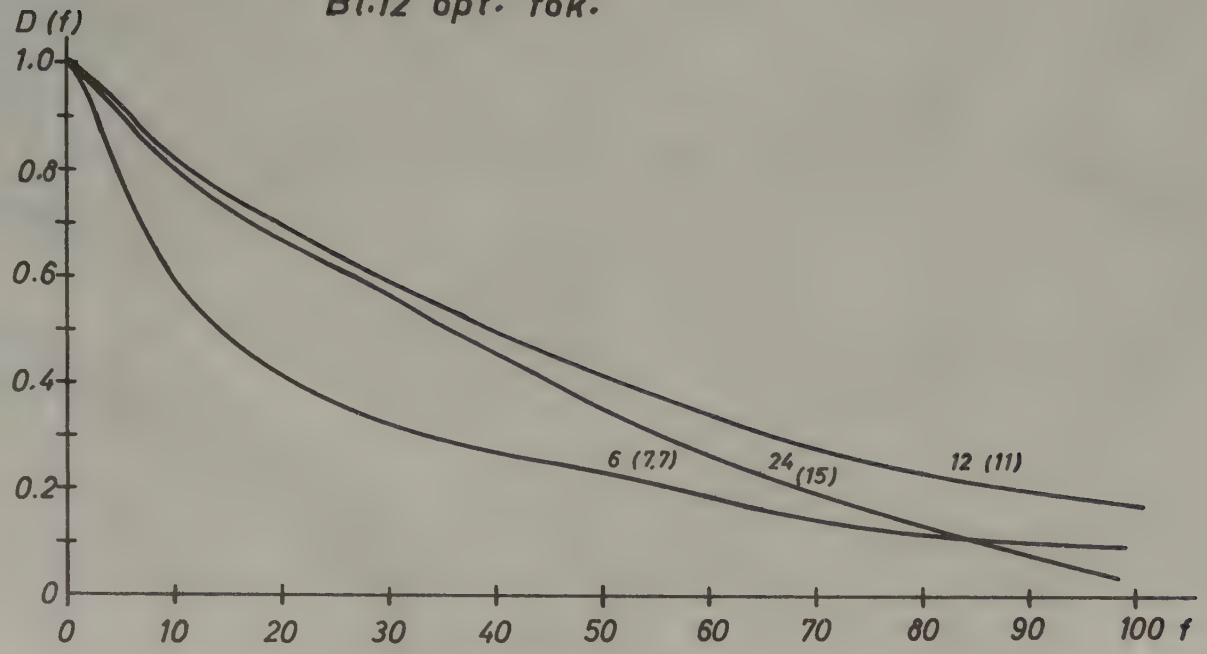
Als dritter Vertreter der Anastigmate vom GAUSS-Typ soll hier das Omnar der Firma BUSCH erwähnt werden. Es wurde 1901 von K. MARTIN berechnet (österreichisches Patent 8364) und zeigte, daß die beim Aristostigmat erwähnten Einschränkungen bezüglich der Abstufung der Brechwerte in der einzelnen Objektivhälfte nicht nötig waren. Es ist also möglich, mit den alten Gläsern, die schon vor der Entstehung des Jenaer Glaswerks bekannt waren, bei genügendem Abstand der beiden Menisken ein anastigmatisches und achromatisiertes Objektiv zu bauen, bei dem die sphärische Korrektur für beliebig große endliche Öffnungen erfüllt ist.

Das Objektiv wurde anfangs mit 1 : 7, später mit 1 : 5,5 und 1 : 4,5 gebaut. Die Korrektion verläuft wie beim Aristostigmaten. Die Koma ist hier wie bei allen lichtstarken Vertretern genauso wie beim Planar vorhanden. Die Verbindung der anastigmatisch geebneten Korrektion mit der GAUSS-Bedingung war eine bemerkenswerte Neuerung, die dem Omnar zu weltweitem Ansehen verhalf.

Das hier gemessene Objektiv (s. S. 172, 173) mit der Öffnung 1 : 7,7 wurde nach Aussagen der Firma zwischen 1900 und 1910 gebaut. Die kritische Blende liegt hier bei 11, also niedriger als beim Aristostigmaten mit gleicher Brennweite. Der Zonenfehler ist auch hier sehr gering. Bei diesem Objektiv wurde auch das Hinterglied einzeln gemessen (s. S. 173).

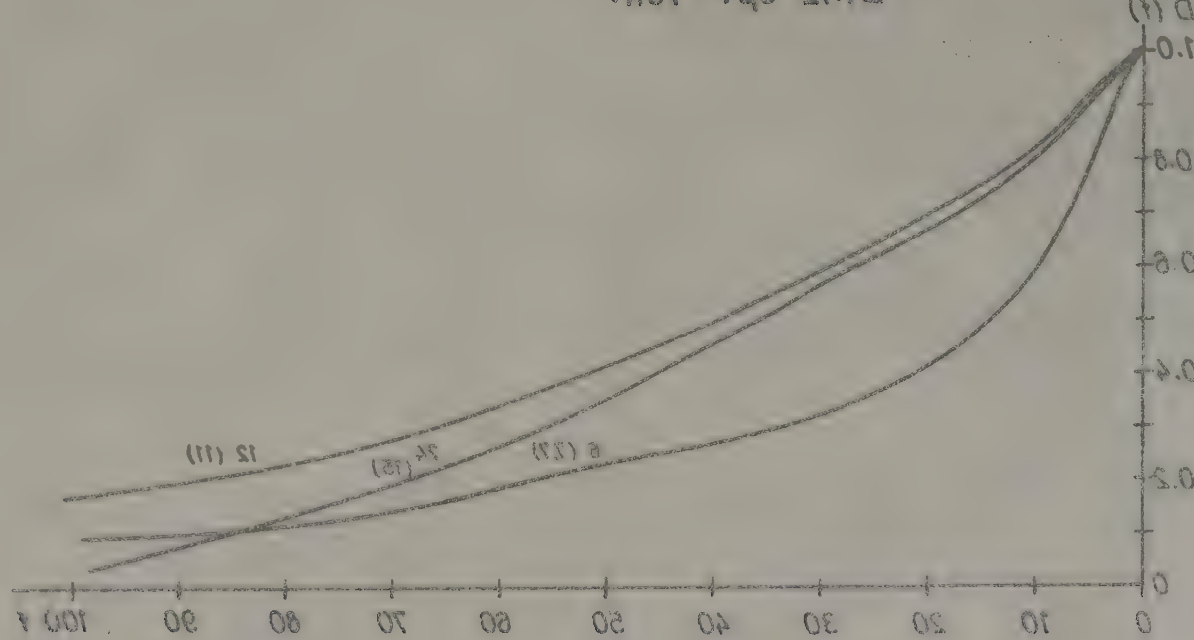
Busch Anastigmat Omnar Serie III f:7.7 Nr.2 1/2 f=150 mm

Bl.12 opt. fok.



Busch Anastigmat Omnar Serie III f:7.7 Nr.2½ f=150mm

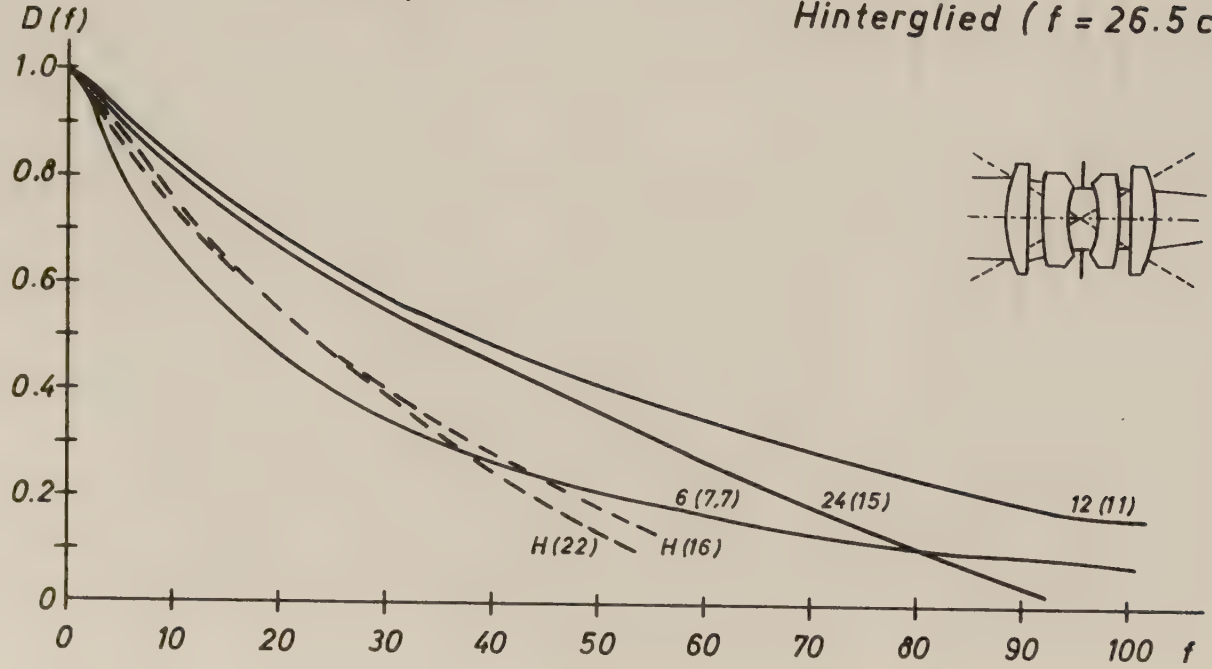
Bl.12 opt. fok.



Busch Anastigmat Omnar Serie III f:7.7 Nr. 2 ½ f = 150 mm

alle Bl. opt. fok.

Hinterglied (f = 26.5 cm)



DAS SUMMICRON

Die Kleinbildphotographie stellt an Film und Objektiv höhere Anforderungen als die größeren Formate, da hierbei stärkere Nachvergrößerungen vorgenommen werden müssen (vgl. 108). Ihre Einführung war daher erst möglich, nachdem in der Herstellung der Objektive die nötigen Fortschritte erzielt worden waren. Umgekehrt war es dann aber auch das Kleinbildformat, das zum Bau von Superweitwinkeln und lichtstärksten Objektiven den Anstoß gab. Denn die für derart extreme Anforderungen notwendigen Linsendurchmesser und die damit verbundene Steigerung von Gesamtgewicht und Größe lassen sich nur für das Kleinbild verwirklichen und verbieten - außer für Spezialsysteme - ihre Verwendung in den größeren Formaten. Neben hervorragendem Auflösungsvermögen, gutem Kontrast und gleichmäßiger Lichtverteilung über das ganze Bildfeld muß eine weitgehende Korrektion aller Farbfehler erfolgen, da die Kameras gleichermaßen für Schwarz-, Weiß- und Farbaufnahmen Verwendung finden. Mit den variierten GAUSS-Doppelobjektiven lassen sich alle diese Forderungen weitgehend erfüllen. Dies gilt besonders, wenn man alle Möglichkeiten ausschöpft, welche die neueren Spezialgläser bieten.

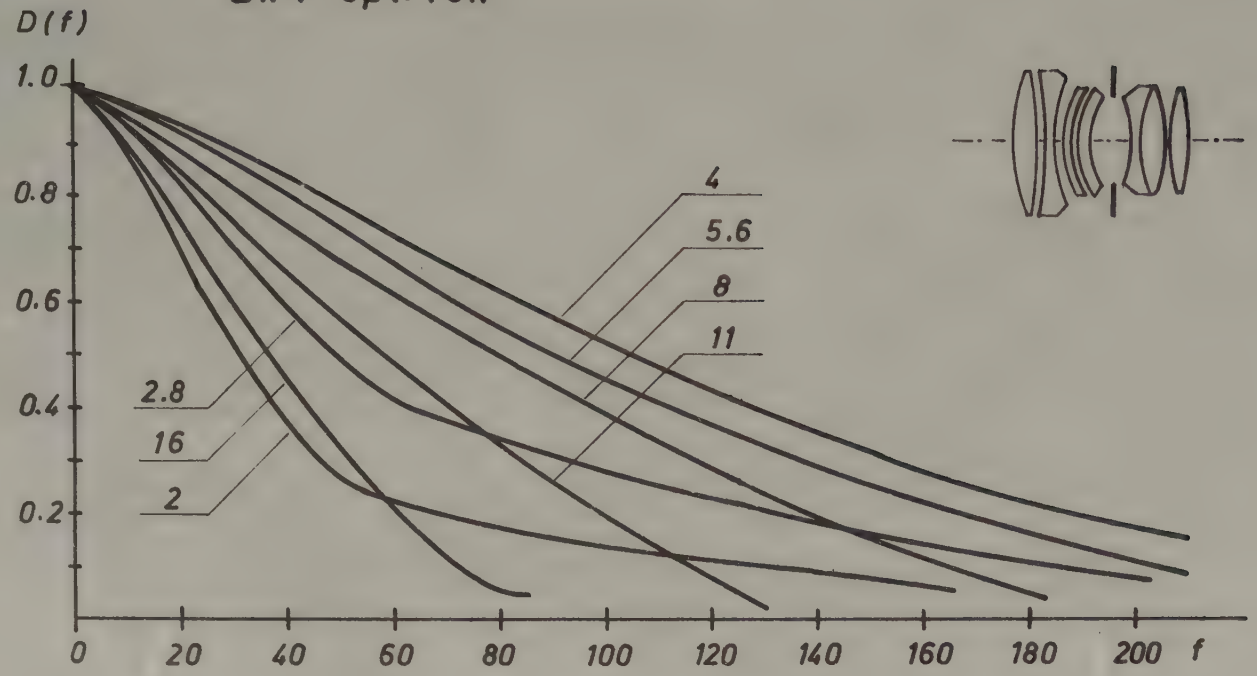
Aus der Reihe der Objektive 1 : 2 für die Leica der Fa. LEITZ entspricht das Summicron der vorläufigen Endstufe einer solchen Weiterentwicklung. Seine Vorläufer sind das Summar aus dem Anfang der 30er Jahre, ein 4-gliedriges, 6-linsiges GAUSS-Objektiv (ähnlich wie die Abbildung auf S. 164). Die bei diesem Objektiv noch merkliche, vor allem bei Farbaufnahmen störende Vignettierung wurde bei dem nächsten Objektiv, dem Summitar (1936), durch eine verkittete Frontlinse mit beträchtlich über den durch die relative Öffnung von 1 : 2 hinausgehenden Durchmesser erheblich verringert. Durch die Verwendung der Lanthankrone und Einführung

je einer Luftlinse statt der Kittflächen im 1. und 2. Glied (s. Abb. S. 176) erreichte man schließlich beim Summicron (USA Pat. 2622478) eine weitere Steigerung. Es wird seit 1952 gefertigt.
Das Objektiv vereinigt in seinem hohen Leistungsstandard vollendete anastigmatische Bildfeldebnung, weitgehende Beseitigung der sphärischen Aberration auch in den schiefen Strahlenbündeln und eine Verbesserung der chromatischen Korrektur. Es erreicht damit eine ausgezeichnete Abbildungs- und Kontrastleistung bei gleichmäßiger und brillianter Durchzeichnung der Bilddetails über das ganze Bildfeld (113).

Es wurde ein Summicron gemessen, das im Jahre 1955 ausgeliefert worden war und uns freundlicherweise von der Firma LEITZ zur Verfügung gestellt wurde. Seine zentrale MÜF (s. S. 176, 177) übertrifft fast alle der gemessenen Objektive. Die kritische Blende liegt bereits bei 4, während sie bei den anderen Kleinbildobjektiven stets bei kleineren Öffnungen liegt. (Sonnar Bl. 8, Heligon Bl. 5,6.) Auch bei größten Öffnungen bleibt die MÜF relativ hoch, Zonenfehler sind nur in geringem Maße vorhanden. Diese gute Leistung ist umso erstaunlicher, als die Vorderfläche des Objektivs zahlreiche deutliche Kratzer aufwies, die möglicherweise zu einer deutlichen Verschlechterung der MÜF gegenüber einem neuwertigen Exemplar führen (vgl. S. 39).

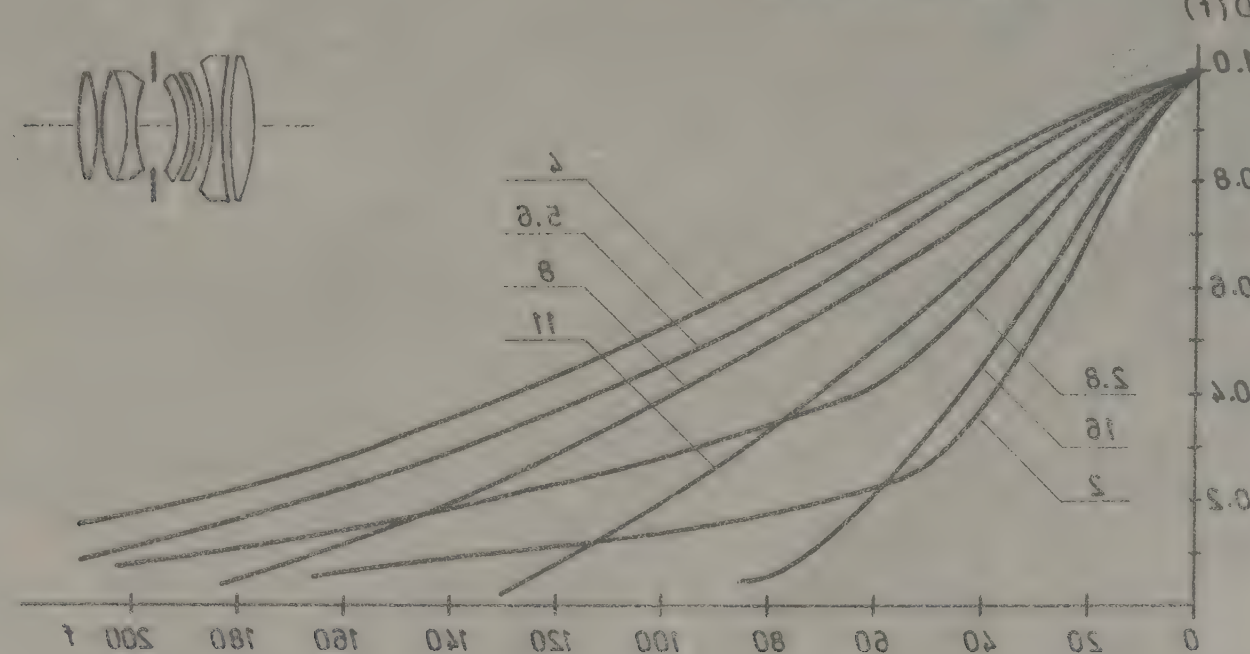
Leitz Nr. 1315932 Summicron 1:2 f = 5cm

Bl. 4 opt. fok.



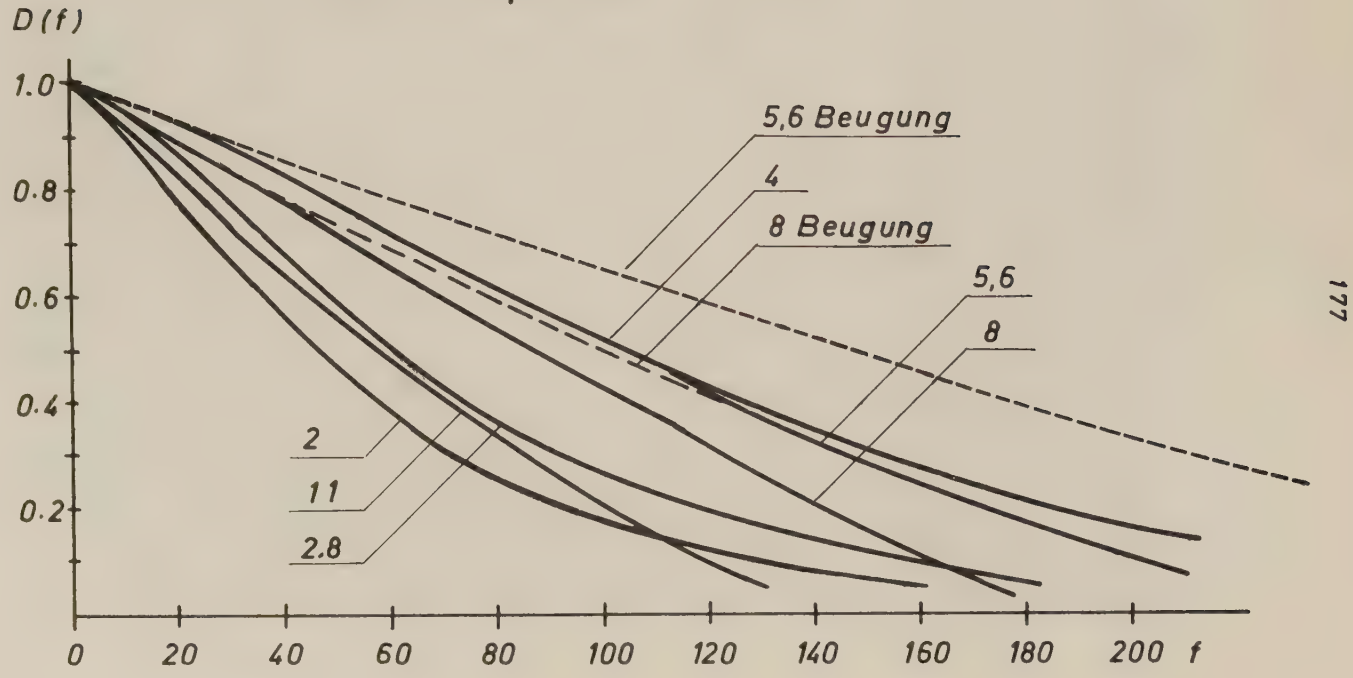
Leitz Nr. 1315932 Summicron 1:2 f=5cm

Bl. 4 opt. fok.



Leitz Nr.1315939 Summicron 1:2 f = 5cm

alle Bl. opt. fok.



177

DAS HELIGON

Eines der ältesten lichtstarken GAUSS-Objektive ist das Biotar der Firma ZEISS (DRP 485798 von MERTE 1927) mit einem Öffnungsverhältnis von 1 : 2 und einem Bildfeld von 50° sowie einem Öffnungsverhältnis von 1 : 1,4 und einem Bildfeld von 35° - 40°. Dieses Objektiv findet wegen seiner großen Schnittweite für Kleinbildspiegelreflexkameras bevorzugt Verwendung. Seine Koma Korrektion war unübertroffen (111) und auch die anastigmatische Bildfeldebnung hervorragend.

Einen ähnlichen Aufbau haben das Xenon der Fa. SCHNEIDER und das Heligon der Fa. RODENSTOCK. Auch diese Objektive befinden sich seit längerer Zeit auf dem Markt und wurden fortlaufend Neuberechnungen und Verbesserungen unterzogen. Sie entsprechen ebenfalls dem modernsten Leistungsstandard in der Objektiventwicklung (112).

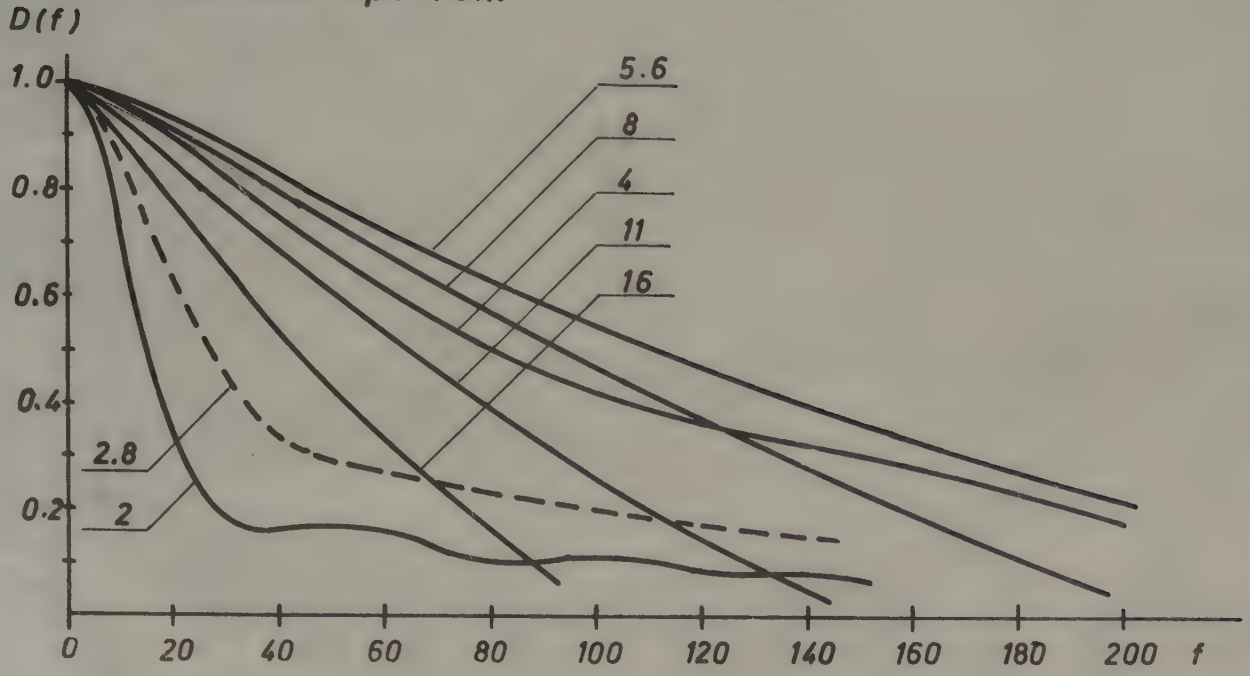
Mit 6 Linsen in 4 Gliedern (s. Abb. S. 181) hat das Heligon bei einer Brennweite von 50 mm eine maximale Öffnung von 1 : 2 und ein Bildfeld von 50°. Das erste Muster hiervon wurde 1943 erstellt, auf den Markt kam es jedoch erst nach dem Kriege. Ein 1951 gebautes Exemplar (Zeichnungs-Nr. 000 122 Teil 1) wurde uns für die Messungen (s. S. 180, 181) von der Fa. RODENSTOCK freundlicherweise zur Verfügung gestellt. Es zeigt bei der kritischen Blende 5,6 die beste axiale MÜF aller gemessenen Kleinbildobjektive. Bei großen Öffnungen erreicht es jedoch nicht ganz die Leistungen des Summicrons, bei dem allerdings der konstruktive Aufwand (6 gegen 4 Glieder) noch weiter getrieben ist. Zudem finden bei dem Heligon 1 : 2/50 mm Lanthangläser erst ab 1958 (eines) und 1959 (mehrere) Verwendung. Es zeigt auch einen deutlich ausgeprägten Zonenfehler, der bis zur Scheinauflösung führen kann (s.S. 180).

So entsprechen die Stellungen Blende 2 optimal fokussiert und Blende 5,6 optimal fokussiert einer Einstelldifferenz von 0,12 mm.

Neben den lichtstarken Standardobjektiven wird das Heligon auch als Weitwinkel für verschiedene Formate und als Heligon C gebaut. Letzteres ist ein Satzobjektiv, das durch Vorsetzen afokaler Systeme ein Beibehalten des gleichen Strahlenverlaufes hinter der Blende erlaubt.

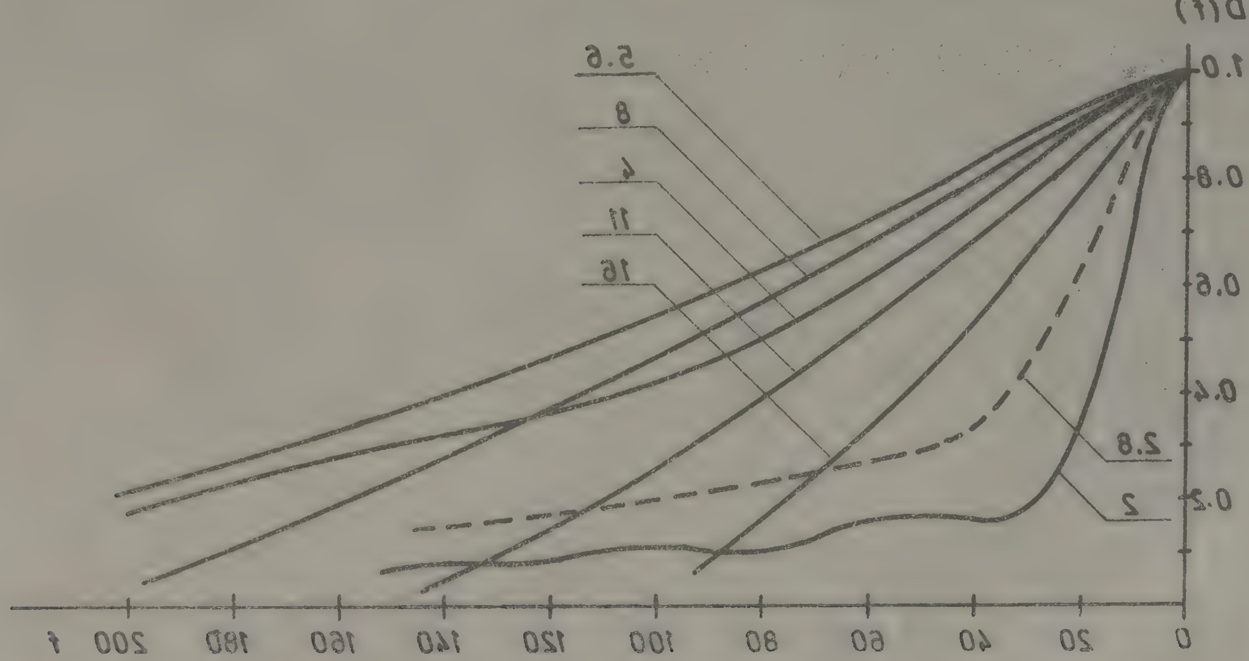
Rodenstock Nr. 2298670 Heligon 1:2 f = 5cm

Bl. 5.6 opt. fok.



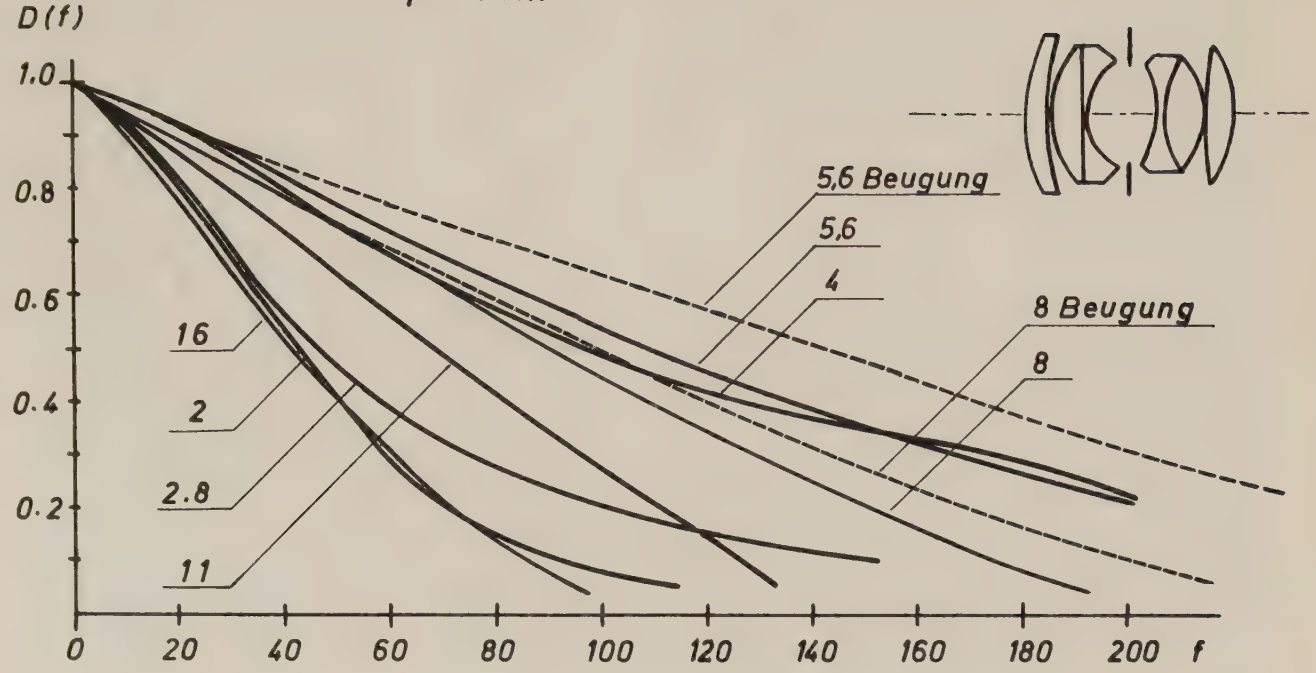
Rodenstock Nr. 2298670 Heligon 1:2 f = 5cm

Bl. 5.6 opt. fok.



Rodenstock Nr. 2298670 Heligon 1:2 f=5cm

alle Bl. opt. fok.



II. VERSUCH EINES VERGLEICHS ZWISCHEN DEN OBJEKTIVEN

A. VORAUSSETZUNGEN FÜR EINEN DIREKTEN VERGLEICH

Selbst wenn man von einem Objektiv den Typ, sein Öffnungsverhältnis, seine Brennweite, den verwendbaren Bildwinkelbereich und die axiale MÜF kennt, kann man noch keine Aussagen über die Qualität der mit ihm erzielten Aufnahmen machen. Vor allem ist wichtig, für welche Aufnahmeformate es verwendet werden soll. Denn erst aus dem Verhältnis von Brennweite zur Diagonale des Aufnahmeformats ergibt sich der Gesichtsfeldwinkel, den das Objektiv noch ohne großen Leistungsabfall abbilden muß. Da man ein Objektiv nicht für einen größeren Bildwinkel benützen kann als denjenigen, für den es berechnet ist, wird mit Recht vielfach von den Herstellern eine Kennzeichnung der Objektive nach dem Bildfeldwinkel in folgender Weise angegeben:

1. Schmalwinkelobjektive. Diese Gruppe umfaßt alle Bildwinkel bis zu 40°. Sie teilen sich in

Fernbildlinsen mit sehr großen Brennweiten, bei denen f etwa das 10-fache der Formatdiagonale oder größer ist. Die Bildwinkel sind kleiner oder gleich 6°.

Teleobjektive. Hier liegt f ungefähr zwischen dem doppelten und 10-fachen Betrag der Formatdiagonalen. Die Bildwinkel liegen zwischen 30° und 6°.

Portraitobjektive. f ungefähr 1 1/2 bis 2 1/2 Formatdiagonale, entsprechend einem Bildwinkel von 40° - 20°.

2. Als weitere Gruppe erscheinen die sogenannten Normal- oder Standardobjektive. Bei ihnen ist die Brennweite f ungefähr gleich der Formatdiagonalen. Die Bildwinkel reichen von 40° - 58°.

3. Bei größeren Winkeln beginnen die sogenannten Weitwinkelobjektive. Hier ist die Brennweite kleiner als die Formatdiagonale.
Bei einem Bildwinkel von 60° - 70° spricht man von Halbweitwinkeln.
Über 70° schließen sich die reinen Weitwinkelobjektive an.

Aus diesen Angaben kann man ersehen, welches Format man maximal verwenden kann. Es ist aber durchaus möglich, z.B. ein Weitwinkelobjektiv für das Format 13 x 18 als Normalobjektiv, für 9 x 12 und für Kleinbild als Teleobjektiv zu verwenden. Dies ist jedoch nur bei besonders gut korrigierten Objektiven zu empfehlen, denn meistens ist ein Objektiv, das auf gute Korrektur über einen großen Bildwinkel gezüchtet ist, nicht auf maximale Mittelschärfe korrigiert. Die Bedingungen, die für den einen oder anderen Zweck notwendig sind, laufen, wie bereits gezeigt (s. S. 55), einander entgegen. In der Praxis sind die Anforderungen bezüglich der Abbildungsgüte für die großen Formate geringer als für die kleinen. Es kann daher ein für Großformate vorzüglich geeignetes Objektiv als Teleobjektiv für Kleinbildaufnahmen bereits ungenügend sein. Dies läßt sich an folgendem Beispiel veranschaulichen:

Von einem gegebenen Gegenstand kann ein Bild gewünschter Größe erhalten werden, indem man die Aufnahme als Kleinbild tätigt und dann entsprechend, z.B. zehnmal nachvergrößert. Oder die Aufnahme wird von vornherein mit einer großformatigen Kamera (f Großformat = ungefähr 10 x f Kleinformat) gemacht, so daß man nicht nachvergrößern muß. Selbst wenn man annimmt, daß man einen sehr feinkörnigen Film hat und das Nachvergrößern mit einem fehlerfreien Ideal-Objektiv durchführen würde, müßte das Aufnahmeobjektiv für das Kleinbild zehnmal so gut sein wie dasjenige für das Großformat, um auf beiden

Wegen gleichwertige Bilder zu bekommen. Das Kleinbildobjektiv müßte den gleichen Kontrast wie das Großbildobjektiv bei der 10-fachen Linienzahl zeigen. Dieser Überlegung entspricht auch die Wahl von verschiedenen Grenzfrequenzen für die unterschiedlichen Aufnahmeformate bei FRANKE (108). Auch K. ROSENHAUER (63), der die MÜF verschiedener Objektive an zwei charakteristischen Punkten vergleicht, variiert diese je nach der Brennweite.
Obige Forderung ist in gewissen Grenzen durchaus erfüllbar, wenn man ein Objektiv in allen seinen Dimensionen um einen bestimmten Faktor verkleinert. Dann gehen alle seine Abbildungsfehler um denselben Faktor zurück. So würde in obigem Beispiel das Großbildobjektiv, auf ein Zehntel verkleinert, die für die Kleinbildaufnahme gestellten Anforderungen erfüllen. Dies gilt jedoch nur für die Öffnungen, bei denen die Beugung eine untergeordnete Rolle spielt. Neben dieser physikalischen Grenze wird die Verkleinerung auch praktisch durch Fertigungstoleranzen, die Dicke der Filmschicht, die Genauigkeit der Filmanlage und die Reinheit der Gläser begrenzt. Der Bau brauchbarer Kleinbildobjektive auf diesem Wege ist daher erst gelungen, nachdem man die gröbsten technischen Schwierigkeiten überwunden hatte.

Auf Grund der eben gemachten Überlegungen wurde auf den Meßblättern jeweils die Brennweite mit angegeben. Außerdem wurde dort, wo es notwendig war, auch angegeben, ob es sich um ein anderes als ein Normalobjektiv handelt. Dennoch ist, wie schon mehrfach betont, ein direkter Vergleich zwischen den MÜF der einzelnen Objektive wegen der unterschiedlichen Brennweiten nicht erlaubt.

Wenn hier versucht wird, doch zu vergleichenden Aussagen zu kommen, so konnte das nur so geschehen, daß in allen Fällen auf die gleiche "Brennweite" bezogen wurde.

Dabei ist aber vorausgesetzt, daß für die Wahl einer derartigen fiktiven Brennweite annähernd die Bedingungen erfüllt sind, daß sich mit Veränderung der Brennweite auch die Fehler maßstäblich ändern und daß man nicht mit der Beugung in Konflikt kommt.

B. NORMIERUNG ALLER OBJEKTIVE AUF GLEICHE VERHÄLTNISSE

Entsprechend den oben gemachten Ausführungen wurde unterstellt, daß alle Prüflinge die gleiche fiktive Brennweite von f = 10 cm hätten. Die Kurven der MÜF mußten daher auf diese Brennweite umgerechnet werden, was einer Maßstabsänderung in der Frequenzachse von 10 : f (cm) entspricht.

Um wenigstens unter den wichtigsten Vertretern der gemessenen Objektive einen derartigen Vergleich sinnvoll durchführen zu können - soweit das aus der Axialmessung allein möglich ist - mußte aus der Schar der MÜF eine geeignete herausgegriffen werden. Dazu bot sich zunächst an, jeweils die kritische Blende zu benutzen, das heißt, die Objektive in ihrer optimalen Stellung zu vergleichen.

Da jedoch für den Photographen die Belichtungszeit eine wesentliche Rolle spielt, ist es wohl praxisnäher, die Objektive mit gleicher Blendenzahl zu vergleichen. Dafür wurde ein mittlerer Wert, Blende 9 , gewählt, einmal weil dieser oder zumindest ein eng benachbarter Wert bei den meisten Objektiven gemessen worden war und dann, weil hier die Beugungsfehler - außer bei den Kleinbild-Objektiven - noch nicht die überwiegende Rolle spielen. In einigen Fällen mußte jedoch, aus jeweils aufgeführten Gründen, von diesem Wert abgegangen werden. Die Blendenzahl ist deshalb auch immer an den Kurven angegeben.

Da alle Objektive dabei als Standardobjektive betrachtet werden, ist auch dieser Vergleich jedoch nur solange

sinnvoll, als keine speziellen Portrait- oder Weitwinkelobjektive mit Normalobjektiven verglichen werden. Für diese gilt der Vergleich nur innerhalb ihrer eigenen Gruppe.

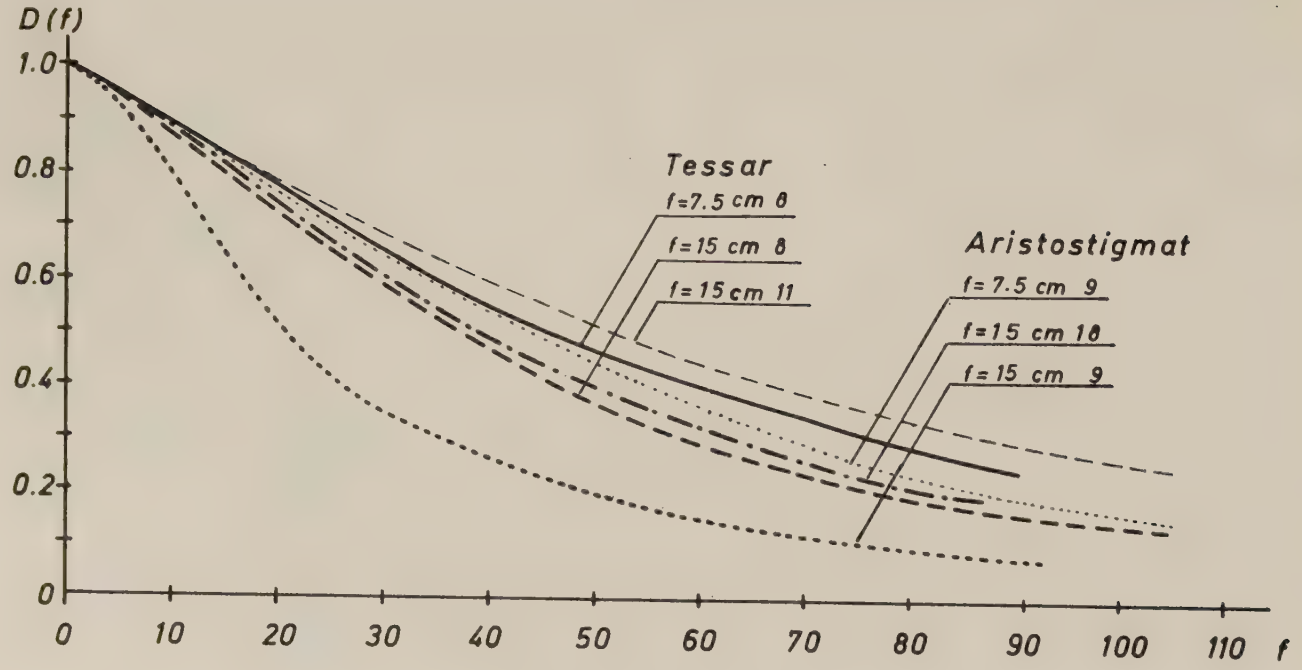
C. VERGLEICH DER OBJEKTIVE

1. OBJEKTIVE GLEICHER BAUART MIT UNTERSCHIEDLICHER BRENNWEITE

Zur Demonstration des Verfahrens sollen als erstes zwei Paare von Objektiven gleicher Bauart, aber mit Brennweiten, die sich mit 1 : 2 verhalten, verglichen werden (Tessar und Aristostigmat, s. S. 187).
Nach der Theorie wäre jetzt zu erwarten, daß sich für den lang- und den kurzbrennweitigen Vertreter wenn auch nicht gleiche, so zumindest gleichartige MÜF's ergeben, die sich in ihrer Kontrasthöhe nur wenig voneinander unterscheiden.
Vergleicht man beim Tessar die nicht reduzierten MÜF (s. S. 141 u.S. 139), so sind die Kurven sehr verschieden; die für das kürzer brennweitige scheinen um ein Vielfaches besser zu sein als die des länger brennweitigen Objektivs. In reduziertem Fall ist das für Blende 8 auch noch immer der Fall, aber beide Kurven haben sich doch stark einander genähert. Da es sich zudem um verschiedene Serien handelt (1 : 3,5 und 1 : 4,5), ist eine bessere Übereinstimmung gar nicht zu erwarten.
Betrachtet man dagegen die kritischen Blenden, so ist das langbrennweitige Objektiv besser, was gar nicht weiter verwunderlich ist, da die Verbesserung durch weiteres Abblenden noch nicht durch die Beugung aufgehoben wird.

Beim Aristostigmat liegen die Verhältnisse ähnlich. Nur sind hier die Serien (1:4, S. 170 u.1:6,8, S.168) noch stärker verschieden. Blende 9 ist beim langbrennweitigen eine der ungünstigsten Blenden, während sie beim anderen die kritische Blende bedeutet. Daher sind Unterschiede auch in den reduzierten Kurven sehr stark. Die Kurven für die kritischen Blenden liegen jedoch auch hier sehr nahe beisammen. Die Übereinstimmung ist also bei beiden Objektiven in erwartetem Umfang ersichtlich.

Objektive gleicher Bauart mit verschiedener Brennweite reduziert auf f = 10 cm



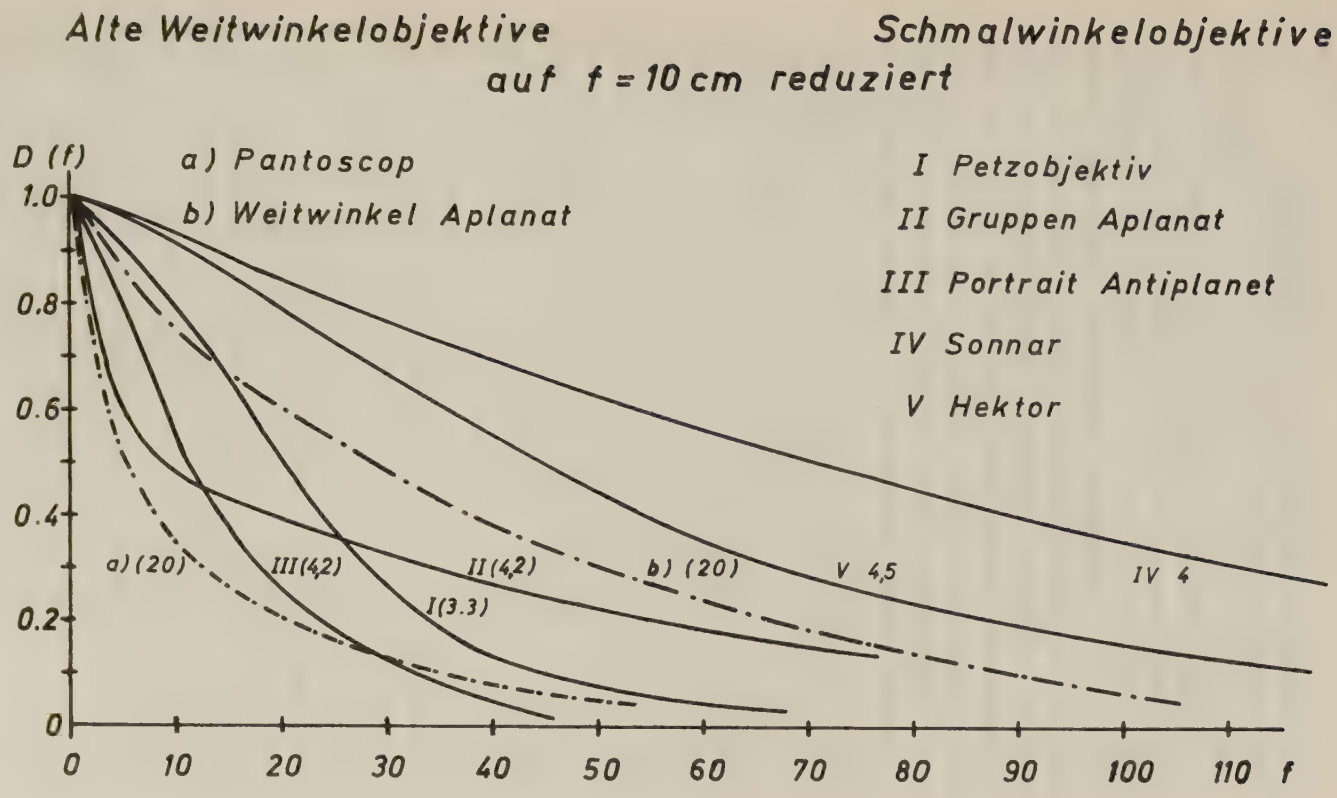
2. VERGLEICH DER WEIT- UND SCHMALWINKELOBJEKTIVE

Die Weit- wie die Schmalwinkel-Objektive (s.S. 189) passen wegen ihres speziellen Verwendungszwecks nicht zum folgenden Vergleich, bei dem alle Prüflinge als Normalobjektive angesehen wurden. Da jedoch von beiden Arten mehrere Vertreter unterschiedlicher Brennweite gemessen wurden, soll die Darstellung mit den reduzierten Brennweiten wenigstens einen internen Vergleich ermöglichen.

Von den Weitwinkelobjektiven wurde ein Pantoskop (Bildfeldwinkel 98°) und ein Weitwinkelplanat (Bildfeldwinkel 94°), beide mit gleichen Blenden (20), gemessen. Das Pantoskop war jedoch für die Aufnahme mit Blende 30 bestimmt. Zudem war der Erhaltungszustand schlechter als der des Aplanats. Diese Umstände mögen eine gewisse Erklärung für das allzu starke Abweichen der beiden MÜF's sein.

Von den Schmalwinkelobjektiven zeigen das Petzvalobjektiv und der Portraitantiplanat einen ähnlichen weichzeichnerartigen Verlauf der MÜF, während der Gruppen-Aplanat (s. S.74) die typische aplanatartige MÜF aufweist, bei der auch die kleinen Frequenzen bereits mit geringem Kontrast übertragen werden. Besonders beim Petzvalobjektiv und dem Portraitantiplanet ist eine Verallgemeinerung von den Prüflingen auf die Typen als solche recht problematisch, weil ihr Erhaltungszustand, wie bereits bei ihrer Besprechung vermutet, nicht mehr einwandfrei ist. Mit ihren drei einzelstehenden Linsen und dem konvergenten Strahlenverlauf im Blendenbereich sind gerade diese sehr empfindlich, und es wäre geradezu ein Wunder, wenn die beiden gemessenen Vertreter die lange Zeit seit ihrer Entstehung ohne Schädigung überstanden hätten.

Die beiden neueren Teleobjektive schneiden erwartungsgemäß sehr viel besser ab.


Alte Weitwinkelobjektive
Schmalwinkelobjektive
auf f = 10 cm reduziert
D (f)
a) Pantoscop
b) Weitwinkel Aplanat
I Petzobjektiv
II Gruppen Aplanat
III Portrait Antiplanet
IV Sonnar
V Hektor
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0
a) (20)
III(4,2)
II(4,2)
I(3.3)
b) (20)
V 4,5
IV 4
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
f

3. VERGLEICH VON HINTERGLIED UND GESAMTSYSTEM DER DOPPELANASTIGMATE

Hier soll an vier Beispielen das Verhalten der MÜF bei den unter den Doppelanastigmaten so beliebten Satzobjektiven untersucht werden (s. S.192). Der Leistungsabfall des Einzelglieds gegenüber dem Gesamtsystem dürfte, bezogen auf gleiche Bildwinkel über das gesamte Gesichtsfeld, allerdings noch stärker sein, als er aus den axialen Messungen der MÜF allein zur Geltung kommt. Da bis auf das Protar, bei dem sich die Brennweiten von Gesamtsystem und Hinterglied nur wenig unterscheiden, bei allen Satzobjektiven die Brennweite des einzeln gemessenen Hinterglieds erheblich größer ist als die des Gesamtsystems, ist anzunehmen, daß dem Sinn der Satzobjektive entsprechend die Objektivhälfte zur Verwendung als Schmalwinkel in derselben Kamera gedacht war. Bei der Behandlung der einzelnen Prüflinge im ersten historischen Teil sind die angegebenen MÜF der Hinterglieder demnach direkt mit denen des Gesamtsystems zu vergleichen, da beide für dasselbe Aufnahmeformat gedacht waren. Wie man jedoch dort gesehen hat, ist das Öffnungsverhältnis der Objektivhälfte meist viel kleiner als das des Gesamtsystems. Sie ist, wenn überhaupt, nur in stark abgeblendetem Zustand benutzbar. Am besten schneiden im direkten Vergleich von Gesamtsystem und Hinterglied allein das Dagor (s.S.101), das Celor (s.S.112) und das Omnar (s. S. 173) ab, doch auch bei ihnen ist das Gesamtsystem sehr viel besser.

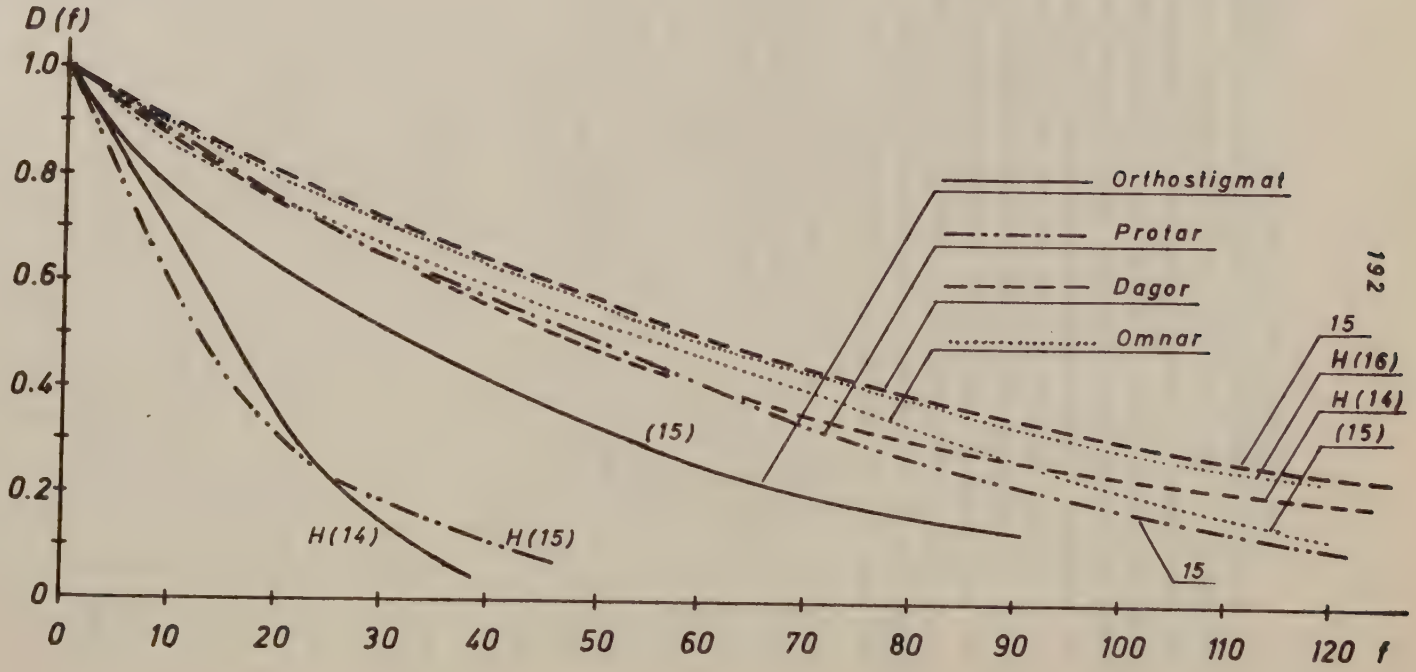
Da in der Verwendung als Schmalwinkelobjektiv zumindest in der Bildmitte erhöhte Anforderungen gestellt werden, soll zur Vermeidung eines zu strengen Maßstabs ihr Gesamtsystem und Hinterglied mit gleicher reduzierter Brennweite verglichen werden, obwohl eine derartige Verwendung in der Praxis wohl kaum vorgekommen sein dürfte.

Von den hier betrachteten sind das Dagor und das Omnar

die einzigen derartigen Objektive, die mit reduzierter Brennweite in etwa gleichwertige MÜF liefern. Aber gerade beim Omnar ist eine Verwendung als Satzobjektiv nicht besonders erwähnt. Die Hälfte hat auch sehr große Koma. Beim Dagor wird wegen der Koma in der Hälfte sogar von einer Einzelverwendung abgeraten (111), da es als Ganzes konstruiert worden war. Es wäre allerdings möglich, daß bei diesem später gebauten Exemplar auch in dieser Hinsicht Verbesserungen angebracht wurden. Bei den beiden anderen Objektiven, dem Orthostigmat und dem Protar ist die Objektivhälfte trotz kleiner Koma zu jeglicher Verwendung als Einzelobjektiv ungeeignet.

Weil es sich bei allen gemessenen Prüflingen um keine speziellen Satzobjektive handelte, war es nicht möglich, ein grundsätzliches Urteil über sie zu fällen. Sicher kann man jedoch sagen, daß die wirklichen Qualitäten eines Satzobjektivs nur in seiner Verwendung als Ganzes zur Wirkung kamen. Die Verwendung seiner Einzelglieder, die aus Reklamegründen gerne propagiert wurde, genügte zwar wohl den Ansprüchen der meisten Amateure, die Meßkurven weisen jedoch nicht in diese Richtung.

Satzobjektive: Gesamtsystem und Hinterglied reduziert auf f = 10 cm



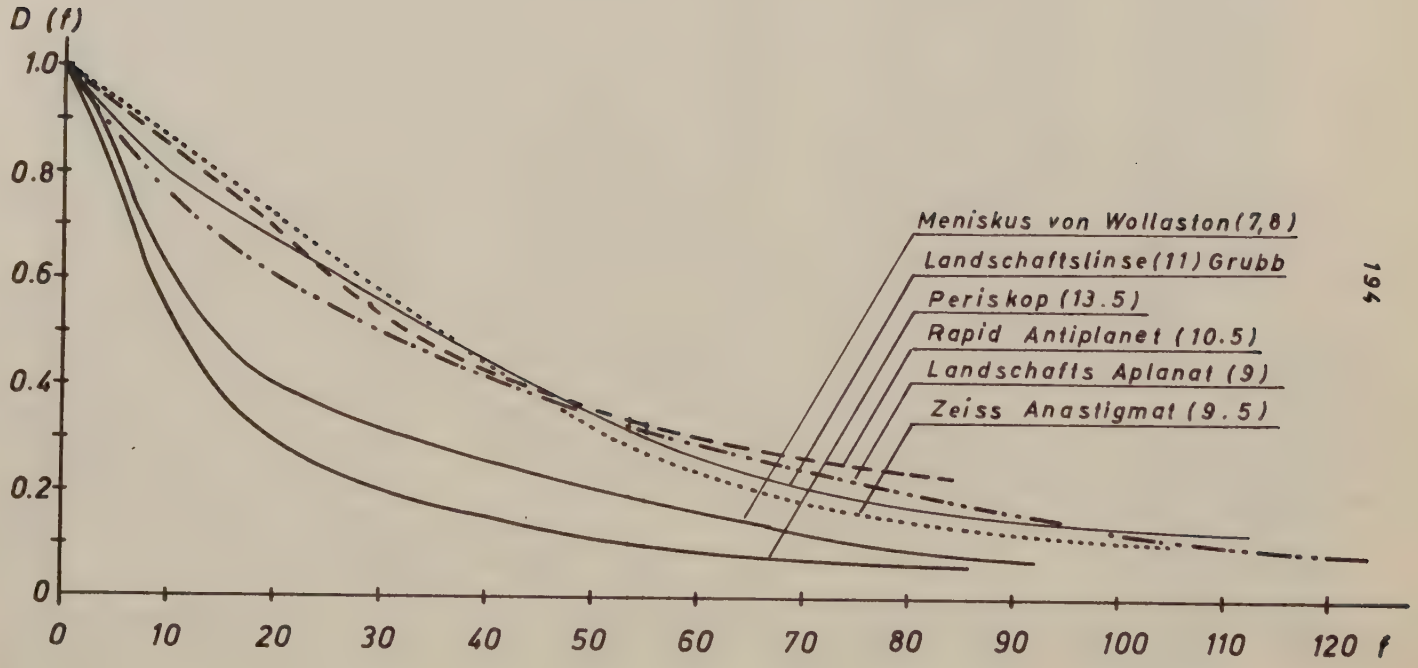
4. VERGLEICH DER ALTEN NORMALOBJEKTIVE

Unter den hier betrachteten Objektiven (s.S.194) schneidet das Periskop besonders schlecht ab. Das gegenüber dem STEINHEIL'schen Typ erheblich größere Öffnungsverhältnis dieses in seiner Herkunft ungeklärten Objektivs mag hierin zum Ausdruck kommen (vgl. S.60).

Um einiges besser ist der Meniskus von Wollaston. Mit Rücksicht auf seine einfache Konstruktion liefert er eine durchaus akzeptable MÜF. Dieses Ergebnis und die Kurve für die GRUBB-Linse lassen auf Abbildungsleistungen schließen, die eine Erklärung dafür geben könnten, daß die sehr alten Aufnahmen trotz der primitiven Mittel, unter denen sie entstanden sind, auch heute noch unser Gefallen finden (man vergleiche hierzu z.B. die Photographien aus (130) und (131)).
Die anderen Objektive sind in ihrer axialen MÜF einander sehr ähnlich. Zu berucksichtigen ist jedoch bei der Grubb-Linse, daß sie dieses Ergebnis erst bei stärkerer Abblendung erreicht als die anderen Objektive.
Der Landschaftsaplanat zeigt ein für derartige Objektive typisches Verhalten: ein hohes Auflösungsvermögen, d.h. sehr langsames Abfallen der MÜF bei höheren Frequenzen, dem aber ein sehr rascher Abfall am Anfang entgegensteht. Die groben Strukturen werden also mit relativ schwachem Kontrast abgebildet.

Der Rapid-Antiplanet zeigt in dieser Hinsicht eine Verbesserung. Eigentlich wird dieses Objektiv als verbessertes Gruppenobjektiv bezeichnet (113); das kleine Öffnungsverhältnis und die kurze Brennweite lassen jedoch darauf schließen, daß es sich hier um ein mehr für Landschaftsaufnahmen gedachtes Exemplar handelt. Eine weitere Kontrastverbesserung für kleine Linienfrequenzen zeigt der Anastigmat von ZEISS. Sie wird jedoch mit einem kleineren Kontrast bei den hohen Frequenzen erkauft. Sein Vergleich mit den anderen Objektiven zeigt, daß die Vorläufer der Anastigmate, zumindest was die Mittelschärfe betrifft, mit den ersten speziell anastigmatisch korrigierten Objektiven konkurrieren konnten.

Alte Normalopjektive reduziert auf f = 10 cm

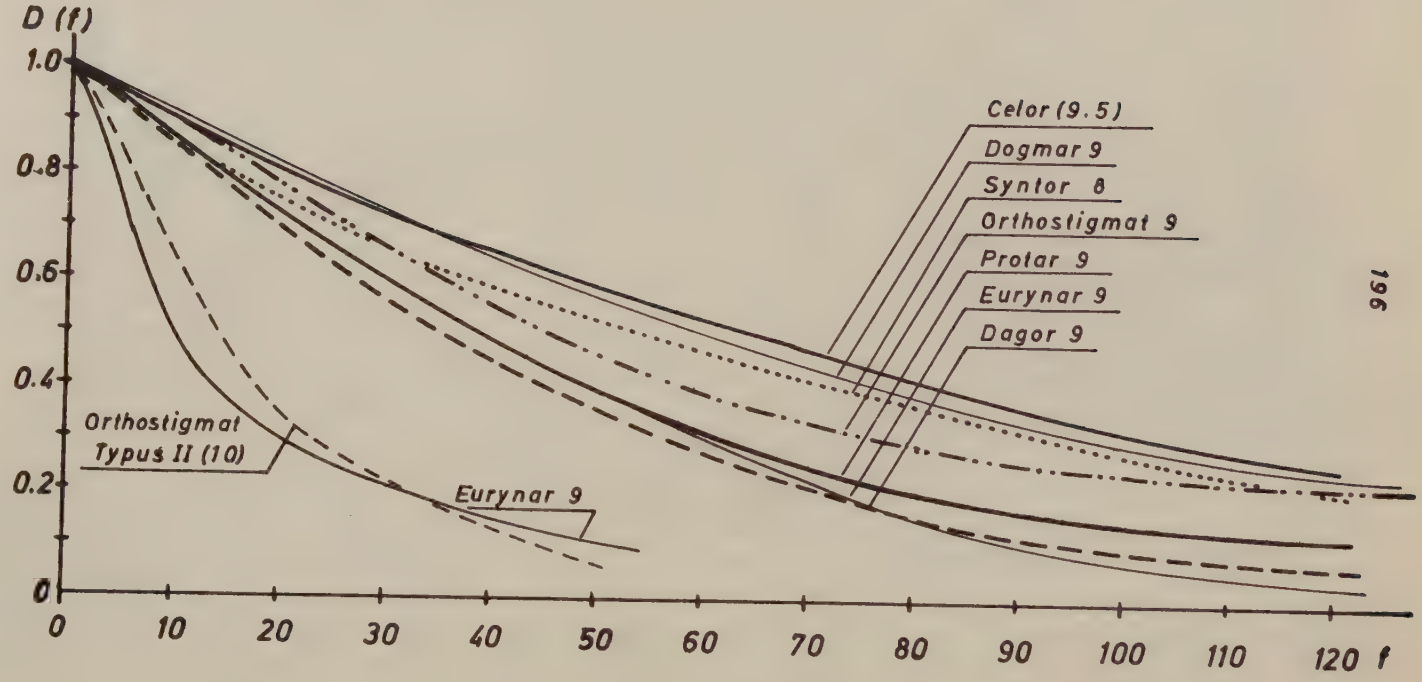


5. VERGLEICH DER DOPPELANASTIGMATE

Als nächstes folgt die Gruppe der Doppelanastigmate (s. S. 196). Wenn man von den beiden sehr frühen und wohl auch stark angegriffenen Exemplaren des Orthostigmats und des Eurynars absieht, ist der Fortschritt, der mit den Doppelanastigmaten erreicht wurde, an der axialen MÜF deutlich erkennbar. Die Kurven für die ersten Konstruktionen, wie das Protar und das Dagor, liegen noch ungefähr im Gebiet der Kurven für die älteren Objektive. Dabei ist zu beachten, daß die bei Blende 9 gemessenen Kurven noch nicht den Optimalzustand darstellen (vgl.S. 95 u.S.101). Die Weiterentwicklungen dieser Objektivgruppe führen, wie die anderen Beispiele zeigen, zu immer besseren Leistungen, und ihre MÜF überdecken ein weites Gebiet von höheren Kontrasten, besonders bei den mittleren und hohen Linienfrequenzen. Der neuere Orthostigmat liegt in der Mitte zwischen den eben genannten ältesten Doppelanastigmaten und den besten Objektiven dieser Gruppe. Seine MÜF bei Blende 9 liegt auch schon nahe der für die kritische Blende 12,5.

Die besten MÜF dieser Gruppe zeigen die drei GOERZ'schen Weiterentwicklungen, bei denen die Objektivhälfte in zwei einzelstehende, von einer Luftlinse getrennte Linsen aufgeteilt ist. Dabei hat das Celor mit seiner großen Öffnung von 1 : 4,5 seine kritische Blende schon bei Blende 9,5, während das Syntor diese wegen der kleineren Öffnung erst bei Blende 11 und das Dogmar wegen der größeren Brennweite erst bei Blende 12,5 erreicht. Beim Syntor und Dogmar, besonders aber beim Syntor, bringt das stärkere Abblenden auch noch eine weitere Kontrastverbesserung.
Das ähnlich gebaute Objektiv von RODENSTOCK, das Eurynar, erreicht diese bei weitem nicht. Es war jedoch, soweit berichtet, als preislich günstiger Doppelanastigmat gebaut und trat daher nicht als direkter Konkurrent der obigen Typen auf. Das ältere Exemplar fällt gegen das neuere sehr stark ab. Es erreicht seine maximale Leistung erst bei der kritischen Blende 18 und ist dort sehr viel besser als bei den größeren Öffnungen (s.S. 117).
Die Verbesserungen bei dem später gebauten Eurynar kommen, soweit aus der MÜF ersichtlich, hauptsächlich den großen Öffnungen zugute.

Doppelanastigmate reduziert auf f=10 cm



6. VERGLEICH DER OBJEKTIVE VOM TRIPLET- UND GAUSSTYP

Wie bereits erwähnt, wurden die leistungsfähigen, aber teueren Doppelanastigmate, die zudem nicht zu größten Öffnungen oder Bildfeldwinkeln entwickelt werden konnten, von den Abkömmlingen des Triplet- und des Gauß-Typs verdrängt.

Die Triplets:

Die gemessenen Grundtypen dieser Objektivfamilie sind auf S. 200 einander gegenübergestellt. Bis auf das Heliar, bei dem keine größere Verbesserung durch Abblenden auf die kritische Blende 12 erzielt wird, und die Cooke-Linse, die mit ihrer großen Brennweite von 28 cm die kritische Blende erst bei 18 erreicht und dabei eine erhebliche Kontraststeigerung erfährt (s. S. 127), sind hier alle Objektive mit ihrer kritischen Blende vertreten.

Vergleicht man die Kurven für die Triplets mit denen der Doppelanastigmate, so sieht man, daß die Anastigmate des Triplettyps durchaus den Doppelanastigmaten gleichwertig sind. Die MÜF der Cooke-Linse entspricht trotz ihres einfachen Aufbaues in etwa der des Orthostigmaten (4 gegen 6 Linsen) und die des Heliars denen der Goerz'schen Weiterentwicklungen. Die jeweilige Leistungssteigerung gegenüber dem vorhergehenden Objektiv entspricht dem konstruktiven Aufwand der Systeme.
Von den beiden jüngeren Objektiven, dem Cassar und dem Sonnar, zeigt ersteres eine recht gute MÜF. Sie beweist, daß auch mit wenig aufwendigen Objektiven bei nicht zu großer Öffnung gute Abbildungsleistungen erreicht werden können. Die MÜF des Sonnars wirkt allerdings in ihrer reduzierten Darstellung, zumindest bei hohen Frequenzen, enttäuschend. Bei kleinen Frequenzen ist sie dagegen den anderen Triplets gleichwertig oder sogar überlegen. Dieses relativ schlechte Abschneiden bei den hohen Linien-

frequenzen weist jedoch weniger auf die Qualität des Objektivs als auf die Grenzen des Verfahrens der Brennweitenreduktion hin. Denn für die Kleinbildobjektive erweist sich bei den hier betrachteten Blenden die Beugung bereits als ein wesentlicher Faktor für die Begrenzung der MÜF. Die Hauptstärke der Kleinbildphotographie liegt ja besonders bei den hohen möglichen Öffnungen. So ist z.B. die MÜF des Sonnars bei Blende 5,6 nur unwesentlich schlechter als die für die kritische Blende 8. Um den Beugungseinfluß beurteilen zu können, ist bei der Behandlung der einzelnen Kleinbildobjektive im Teil I der Arbeit auch die MÜF für reine Beugung eingetragen.
Beim Sonnar zeigt der Vergleich von gemessener und theoretisch möglicher MÜF (s.S. 152), daß auch bei Blende 8 die Aberrationen den Verlauf der Übertragungsfunktion mitbestimmen.

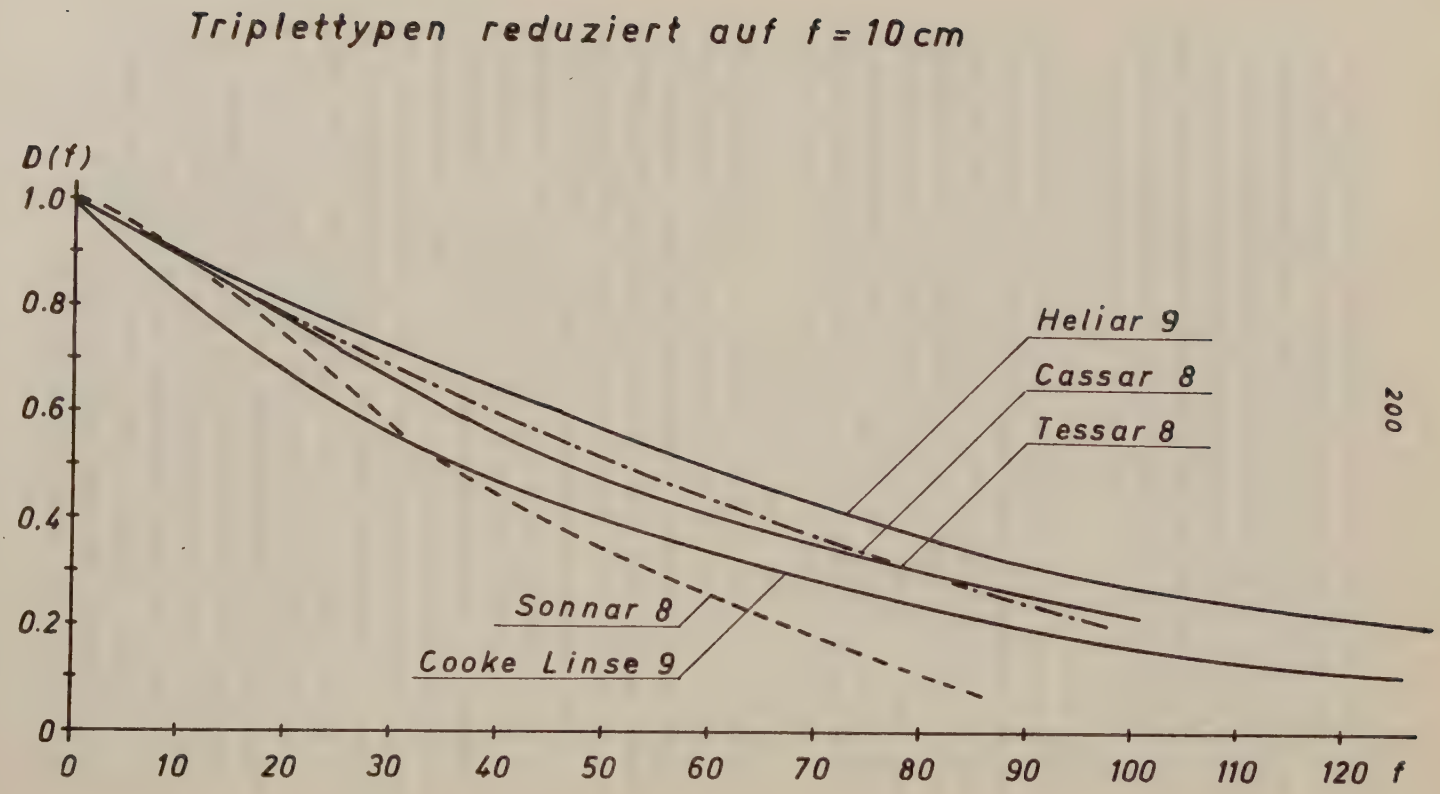
Die Gauß-Typen:

Eine weitere Verbesserung der Korrektur wurde mit dem Gauß-System erreicht, was auch in der erreichten MÜF des Planars zum Ausdruck kommt (s.S. 201). Diese liegt deutlich über allen der gemessenen Doppelanastigmate und Triplet-Konstruktionen. Das Planar erweist sich damit im Rahmen dieses Vergleichs als das Objektiv mit der besten MÜF. Ein Blick auf S. 164 zeigt zudem, daß die MÜF des Objektivs im Blendenbereich von 7 - 10 von dieser Kurve nur sehr wenig abweicht, so daß diese Spitzenstellung nicht durch die im Vergleich zu den anderen Objektiven kleinere Öffnung erklärt werden kann.

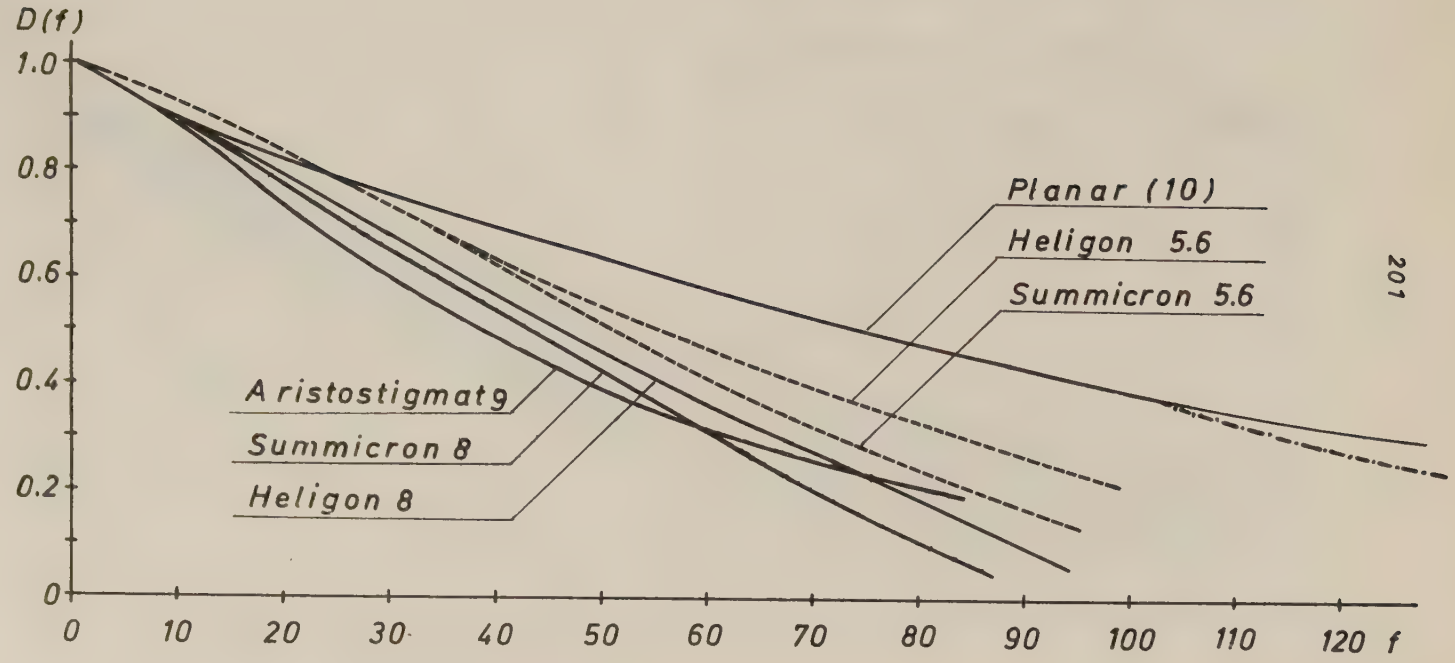
Die relativ kleine Öffnung führt aber dazu, daß beim Planar als einzigem der gemessenen Objektive die MÜF nach der Reduktion bei hohen Frequenzen einen besseren Verlauf hätte als dies auf Grund der Beugung überhaupt möglich wäre. Das kann in Wirklichkeit niemals der Fall sein, denn die Beugung stellt immer eine obere Grenze

dar. Bei der Benutzung des Reduktionsverfahrens ist daher besonders bei größeren Brennweiten darauf zu achten, daß die reduzierte Kurve nicht über der Beugungskurve liegen darf; denn das Reduktionsverfahren wurde nur für den beugungsunabhängigen Bereich postuliert (s.S.184). Aus diesem Grunde darf daher auch am hochfrequenten Ende der MÜF des Planars nur mehr der strichpunktierte Kurvenzug verwendet werden, der der Beugungskurve entspricht (s.S. 201).

Im Gegensatz zum Planar wirkt die MÜF auf der Achse beim Aristostigmaten enttäuschend, denn der Kontrast beginnt bereits bei 15 Linienpaaren /mm stark zu fallen, um dann bei hohen Frequenzen wieder etwas flacher zu verlaufen. Das Objektiv zeigt also im Vergleich zum Planar einen eher weichzeichnerartigen Verlauf. Da der zweite Vertreter dieses Typs ähnliche Kurven ergab, ist dieses schlechte Abschneiden wohl nicht allein auf den Erhaltungszustand des Prüflings zurückzuführen.
Wie schon bei den Triplets erwähnt, wird die Reduktion, besonders bei den zum Vergleich gewählten Öffnungen, den Qualitäten der Kleinbildobjektive nicht ganz gerecht. Verglichen mit den anderen Objektiven schneiden diese zu schlecht ab (vgl. auch S.205). Sowohl beim Summicron (s.S.177) wie besonders beim Heligon (s.S.181) ist die MÜF bei Blende 8 fast ausschließlich durch die Beugung bestimmt,und es resultiert daher ein starker Abfall der reduzierten Kurven bei höheren Frequenzen. Es sind deshalb - in der Abbildung gestrichelt - für diese beiden Objektive zusätzlich die Übertragungsfunktionen der Blende 5,6 aufgeführt, die auf die Leistungsfähigkeit der beiden Typen hinweisen. Man beachte, daß selbst bei dieser viel größeren Öffnung die Kontrastwerte bis zu den mittleren Frequenzen höher liegen als bei den Triplets und Doppelanastigmaten. Bei kleinen Frequenzen liegen sie deutlich höher als bei allen anderen Objektiven. Der auch hier vorhandene Bereich des steilen, durch Beugung bedingten Abfalls kommt in ein Frequenzgebiet zu liegen, das kaum mehr für die Abbildung ausgenützt werden kann (vgl. hierzu S.210).


Triplettypen reduziert auf f = 10 cm
D(f)
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
f
Heliar 9
Cassar 8
Tessar 8
Sonnar 8
Cooke Linse 9
200

Gaußtypen reduziert auf f = 10 cm

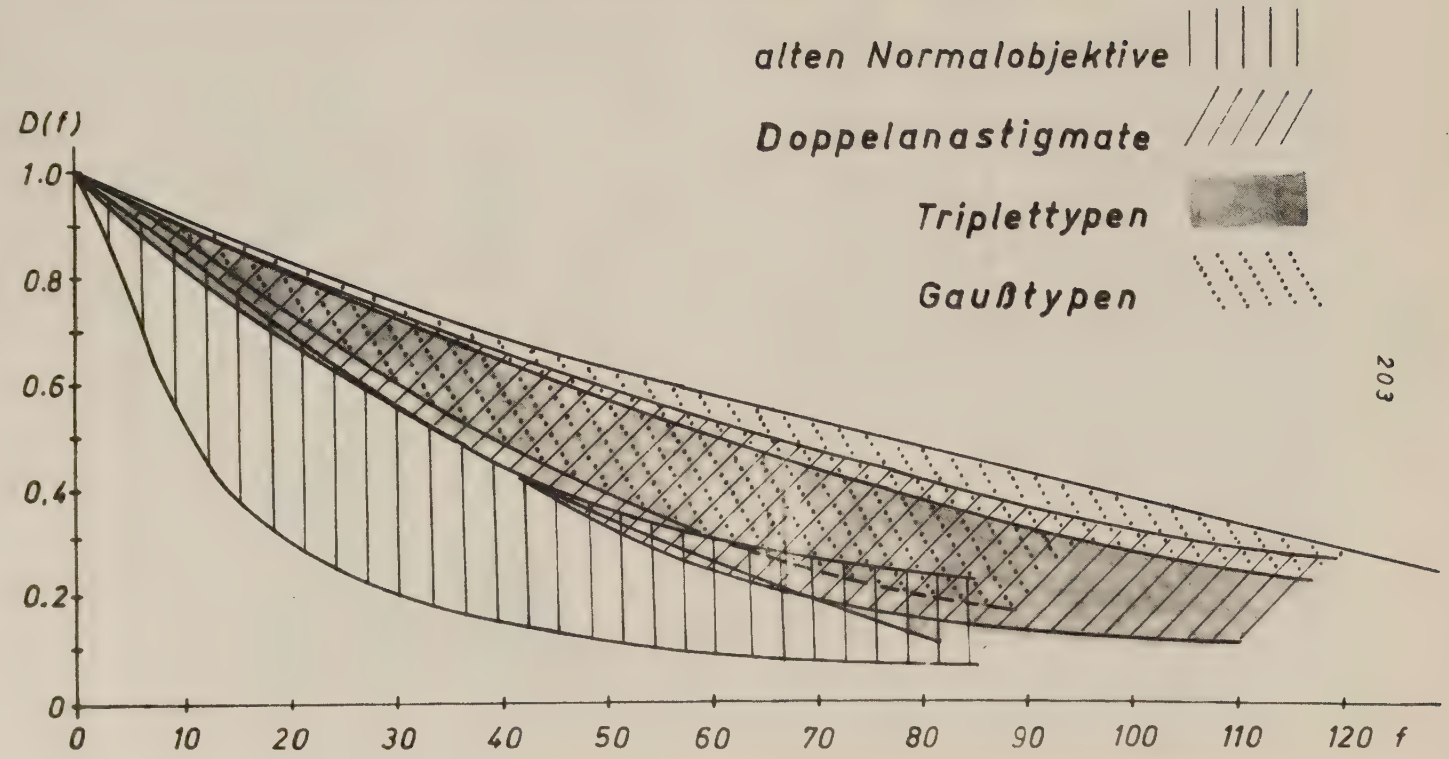


D. ZUSAMMENFASSUNG DES VERGLEICHS

Wie im ersten Teil der Arbeit gezeigt wurde, haben die schrittweisen Verbesserungen bei den einzelnen Objektiven in ihrer Summation zu erheblichen Leistungssteigerungen geführt und neue Typen hervorgebracht, die heute noch zu den besten Gebrauchsobjektiven zählen. Diese Fortschritte sind natürlich nicht immer von Objektiv zu Objektiv aus der axialen MÜF der einzelnen gemessenen Vertreter direkt ersichtlich geworden.

Legt man aber die vier letzten Kurvenblätter übereinander, so erhält man folgendes Bild (s.S. 203), in dem die Bereiche der einzelnen Objektivgruppen gegeneinander abgegrenzt sind: Die fortschreitende Entwicklung im Bau der Objektive über den betrachteten Zeitraum - von den ersten Anfängen an bis in die neueste Zeit - kommt in der Verbesserung der axialen MÜF hier deutlich zum Ausdruck.

Die Bereiche der auf f = 10 cm reduzierten



III. VERGLEICH DER OBJEKTIVE MITTELS GÜTEZAHLEN

Im Folgenden sollen einige der in der Einleitung erwähnten Gütekriterien, die sich aus der MÜF gewinnen lassen, auf die gemessenen historischen Objektive angewendet werden. Dabei interessiert vor allem, inwieweit und in welcher Form sich diese Kriterien für einen Vergleich so verschiedener Typen eignen.

Typische derartige Kriterien sind die eindimensionalen Abwandlungen der Linfoot'schen Kriterien (vgl. dazu S. 16) wie sie HÄRTEL (78) unter der Bezeichnung "relative Gipfelhöhe" und "Schroffheit" verwendet.

Die "relative Gipfelhöhe" A entspricht dem Integral über die normierte Übertragungsfunktion, also der Fläche unter der MÜF (s. Abb. 12 Fläche II).

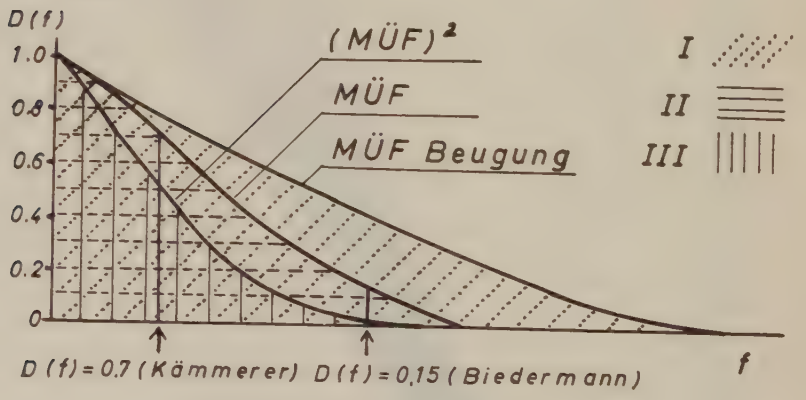


Abb. 12

Für einen direkten Vergleich der verschiedenartigen Objektive ist dieses Kriterium, wie auch die MÜF selbst, nicht geeignet, da die Einflüsse der unterschiedlichen Brennweiten jeden Effekt, der von dem Grad der Korrektur herrührt, weit überdecken. Als Einstellkriterium ist es jedoch gut brauchbar. Es wurde daher auch in dieser Arbeit für die optimale Fokussierung verwendet (s.S. 42). Beim Vergleich der verschiedenen Prüflinge nach diesem Kriterium muß man den gleichen Weg gehen, wie er oben für die MÜF geschildert wurde, d.h. man muß auch hier wieder eine Reduktion auf gleiche fiktive Brennweiten durchführen.
Selbstverständlich bestehen dann für die erhaltenen Gütezahlen die gleichen Einschränkungen wie für die MÜF. Dies gilt besonders für die Beugungseinflüsse, so daß auch hier die Kleinbildobjektive zu schlecht bewertet werden (vgl. S. 199).

Da die Übertragungsfunktion nicht immer bis zu verschwindenden Kontrasten vorlag, erfolgte eine Ergänzung der Kurven durch Fortführung in Richtung der Tangente. Dies kann dazu führen, daß die Gütezahlen von Objektiven mit Brennweiten von mehr als 10 cm im reduzierten Fall etwas zu groß werden können (s. S. 215), da der auslaufende Teil der MÜF bei echten, das heißt mit der reduzierten Brennweite gebauten Objektiven durch die Beugung begrenzt wäre (vgl. S. 201).
Der Betrag der Integrale wurde durch Ausplanimetrieren der Kurven bestimmt. Fehler, die bei dieser Auswertung gemacht werden, können gegenüber der prinzipiellen Ungenauigkeit der MÜF-Messung (s. S. 36), der Unsicherheit bezüglich der Angabe von Brennweiten (s.S. 40) und den durch die Ergänzung des auslaufenden Kurventeils gemachten Fehlern vernachlässigt werden.

Auf S. 213 ff. sind für die gemessenen Objektive die so

erhaltenen Werte für die verschiedenen Kriterien angegeben.

Die Skalen unten in der Abbildung geben die effektiven Werte wieder, oben ist eine Güteskala angegeben, die den Bereich zwischen dem schlechtesten und besten Wert in jeweils 30 Schritte aufteilt. In der Vertikalen sind die Prüflinge aufgetragen, so daß man für sie die Gütezahlen wie auch die effektiven Werte entnehmen kann. Innerhalb einer Gruppe der historischen Entwicklung sind die Werte der einzelnen Kriterien, der besseren Übersicht wegen, miteinander verbunden. Mit anderen Worten: Werte auf diesen Verbindungsgeraden sind nicht realisiert und haben daher physikalisch keine Bedeutung. Um den Einfluß von Blendenzahlen und Brennweiten leichter übersehen zu können, sind erstere in der Abbildung, letztere am Rand neben dem Namen des Objektivs vermerkt.

Die Bestimmung der relativen Gipfelhöhe erfolgte einmal durch Integration über die gesamte MÜF (s.S. 204, Abb. 12 Fl. II)

$$H = \int_0^{\infty} D\,(f)\,df$$

und dann noch nach dem Vorschlag von BIEDERMANN (s.S. 10) durch Integration bis zu der Frequenz, bei der der Kontrast auf 0,15 abgefallen ist:

$$H_{0,15} = \int_0^{f_{0,15}} D\,(f)\,df$$

Wie aus der Abbildung (s. S. 213) ersichtlich ist, differieren die Zahlen für H und $H_{0,15}$ nur in geringem Umfang (maximale Differenz von drei Einheiten). Je nach Verlauf der MÜF wechselt die bessere Bewertung von dem einen zum anderen Kriterium. Die Gesamtentwicklung, d.h. die Verbesserung von Gruppe zu Gruppe, ist auch in dieser

Abbildung angedeutet, vor allem dann, wenn man bedenkt, daß die Triplets und besonders die Kleinbildobjektive aus den erwähnten Gründen zu schlecht abschneiden.

In der gleichen Darstellung ist auch der Wert für die Schroffheit angegeben:

$$G = \int_0^\infty D\,(f)^2\,df$$

Die Klassifizierung nach der Schroffheit ergibt im Wesentlichen dieselbe Einstufung wie die nach der relativen Gipfelhöhe.

Die Unterschiede zwischen G und H erweisen sich als größer (maximal 6 Einheiten) als die zwischen G und $H_{0,15}$ (maximal 3 Einheiten), was jedoch nicht verwunderlich ist, weil sowohl bei G wie auch bei $H_{0,15}$ die hohen Frequenzen nicht bewertet werden. Bezüglich der Weiterentwicklung der Objektive ergibt sich also durch die Schroffheit kein wesentlich neues Moment. Aus Schroffheit und relativer Gipfelhöhe, wie sie in der Abbildung gemeinsam vorliegen, kann man darauf schließen, ob die MÜF am Anfang flach oder steil verläuft.

Qualitativ denselben Überblick wie diese Kriterien liefert auch ein weiteres Kriterium, das die Abbildung von S. 214 zeigt. Hier sind auf der Abszisse die reduzierten Frequenzen aufgetragen, bei denen die MÜF auf 0,7 abgefallen ist. Nach KAMMERER (vgl. S. 12) steht dieser Wert mit den Gütekriterien "Minimalobjekt" und "minimale Linienbreite" in enger Verbindung. Bei diesem Kriterium kommen die Fortschritte der Objektiventwicklung etwas deutlicher zur Geltung, vor allem bei den Triplets und den Gaußobjektiven der Kleinbildphotographie.

Der Versuch, die Objektive nach einem der

Definitionshelligkeit entsprechenden Maß (s.S. 14) einzuordnen, hat noch geringeren Erfolg gehabt. In der Formulierung von O'NEILL (97) ist die Definitionshelligkeit durch folgenden Ausdruck definiert:

$$V = \iint_{-\infty}^{+\infty} D\,(u,v)\,du\,dv \Big/ \iint_{-\infty}^{+\infty} D_o\,(u,v)\,du\,dv$$

wobei D (u,v) die OÜF des Prüflings, D_o (u,v) die theoretische, nur von der Beugung abhängige OÜF bei gleicher Blende darstellt.

Um für diesen Vergleich wenigstens die asymmetrischen Einflüsse auszuschalten - bei der Berechnung von V aus obiger Formel und der MÜF muß Rotationssymmetrie des Punktbildes vorausgesetzt werden - wurde mit einem eindimensionalen Analogon gearbeitet, das folgendermaßen definiert ist:

$$V^* = \int_0^{\infty} D\,(f)\,df \Big/ \int_0^{\infty} D_o\,(f)\,df$$

Er stellt das Verhältnis der Flächen dar, die sich unter der realen MÜF (s.S.204, Abb. 12 Fl.II) und unter der idealen MÜF bei reiner Beugung (s.S. 204, Abb. 12 Fl.I) befinden.

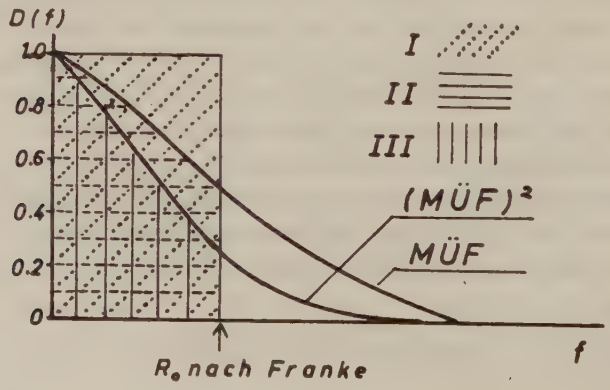


Abb. 13

Es wird hier also bewertet, inwieweit die MÜF und damit der Korrektionsgrad des Objektivs noch von der eines ideal aberrationsfreien, nur von der Beugung abhängigen Objektivs entfernt ist.

Die MÜF für die Beugung bei weißem Licht - die Übertragungsfunktionen sind ja alle für weißes Licht bestimmt- wurde nach folgender Formel punktweise berechnet: (s. auch (128))

$$D(\omega) = \frac{\int_0^\infty D_\lambda(\omega)\, E(\lambda)\, S(\lambda)\, d\lambda}{\int_0^\infty E(\lambda)\, S(\lambda)\, d\lambda}$$

Hierin sind: $E(\lambda)$ die Spektralverteilung der Lichtquelle $S(\lambda)$ die Spektralempfindlichkeit des SEV und ω eine relative Frequenz, die hier speziell an Stelle der bisherigen Ortsfrequenz f Verwendung findet. Diese Relativfrequenz erlaubt eine allgemeine Darstellung der Beugungs-MÜF, die von der jeweiligen Öffnung unabhängig ist (s. Abb. S. 217). Sie hängt mit der Ortsfrequenz f über die Blendenzahl B zusammen: $B \cdot f = \omega$. Die bei den Prüflingen angegebenen Kurven können je nach Blende aus dieser Formel berechnet werden, indem man die ω -Werte durch B dividiert.

Die Größen $E(\lambda)$ und $S(\lambda)$ sowie ihr Produkt sind in Abbildung 4 S. 27 dargestellt. $D_\lambda(\omega)$ wurde aus einer Tabelle, die von F. KOTTLER für die MÜF bei Beugung angegeben ist, berechnet (88).

Bestimmt man V^* aus den gemessenen Werten der Übertragungsfunktion (s.Abb. S. 215), so sind die Kleinbildobjektive ebenso deutlich im Vorteil, wie sie sich bei der reduzierten Betrachtung benachteiligt zeigen. Die zulässigen Grenzen der Reduktion werden im Falle von V^* wiederum beim Planar offenkundig, das hier mit einem theoretisch gar nicht möglichen Wert von über eins

erscheint (s. auch S. 201).
Für einen Vergleich von Objektiven mit so unterschiedlicher Brennweite, wie sie in dieser Arbeit vorliegen, ist daher V^* besonders schlecht geeignet.

Relative Gipfelhöhe und Schroffheit, auf die reduzierte MÜF angewendet, liefern hingegen dann eine der Praxis eher gerecht werdende Wertung, wenn von den Aufnahmen große Nachvergrößerungen oder Ausschnittvergrößerungen gemacht werden sollen. Man setzt nämlich in diesem Fall voraus, daß das abbildende System bis zu sehr hohen Frequenzen ausgenützt werden soll.

Im allgemeinen wird es genügen, wenn nicht sogar günstiger sein, eine Gütezahl anzugeben, die das Abbildungsverhalten nur bis zu den Frequenzen berücksichtigt, die bei einer perspektivisch richtig dargebotenen Vergrößerung subjektiv noch wahrgenommen werden können. Diese Grenzfrequenz liegt, wie bereits in der Einleitung erwähnt wurde, bei 8 Linienpaaren/mm. Auf einem Papierbild von 18 x 24 cm und 40 cm Betrachtungsabstand sollte diese Frequenz demnach noch möglichst gut wiedergegeben werden. Da die nötige Nachvergrößerung je nach Brennweite und Aufnahmeformat variiert, werden an die Abbildungsleistung jeweils unterschiedliche Anforderungen gestellt, wie bereits auf S. 183 gezeigt wurde. FRANKE (108) stellt deshalb eine Tabelle auf, die für verschiedene Brennweitenbereiche (die Prüflinge als Normalobjektive verwendet) die Grenzen angibt, bis zu denen die Abbildungseigenschaften von Bedeutung sind. Die folgende Tabelle ist sinngemäß um einige Werte ergänzt, auch wenn die dazugehörigen Aufnahmeformate nicht gebräuchlich sind.

Grenzfrequenzen für verschiedene Brennweiten:

Brennweite	Grenzfrequenz R_o	Aufnahmeformat
30 cm	8 Lp/mm	18 x 24 cm
21 bis 29 cm	10 Lp/mm	13 x 18 cm
16 bis 21 cm	12 Lp/mm	9 x 12 cm
13,5 bis 15 cm	14 Lp/mm	6,5 x 11 cm
10 bis 12 cm	18 Lp/mm	6 x 9 cm
7,5 und 8 cm	24 Lp/mm	6 x 6 cm
5 cm	40 Lp/mm	24 x 36 mm

Die Integrale für die relative Gipfelhöhe und die Schroffheit werden jetzt auf diese Grenzen bezogen. Eine Normierung erfolgt durch Division mit der jeweiligen Grenzfrequenz R_o.

$$H_{Franke} = \int_0^{R_o} D\,(f)\,df\,/Ro \qquad G_{Franke} = \int_0^{R_o} D\,(f)^2 df/Ro$$

Anschaulich bedeutet diese Darstellung das Verhältnis der Fläche unter der MÜF (s. S. 208 Abb. 13 Fl. II) - oder dem Quadrat der MÜF (s. S. 208 Abb. 13 Fl. III) - zu der Fläche unter der MÜF eines beugungs- und aberrationsfreien Systems (s. S. 208 Abb. 13 Fl. I) bis zur Grenzfrequenz R_o.

Die so erhaltenen Gütewerte sind aus S. 216 ersichtlich. Die Unterschiede zwischen H und G sind auch hier nur gering (maximal 3 Einheiten) und verändern nur in wenigen Fällen die Reihenfolge in der Anordnung.

Betrachtet man in dieser Darstellung die Bereiche der einzelnen Gruppen, so zeigt sich aber, daß hier die

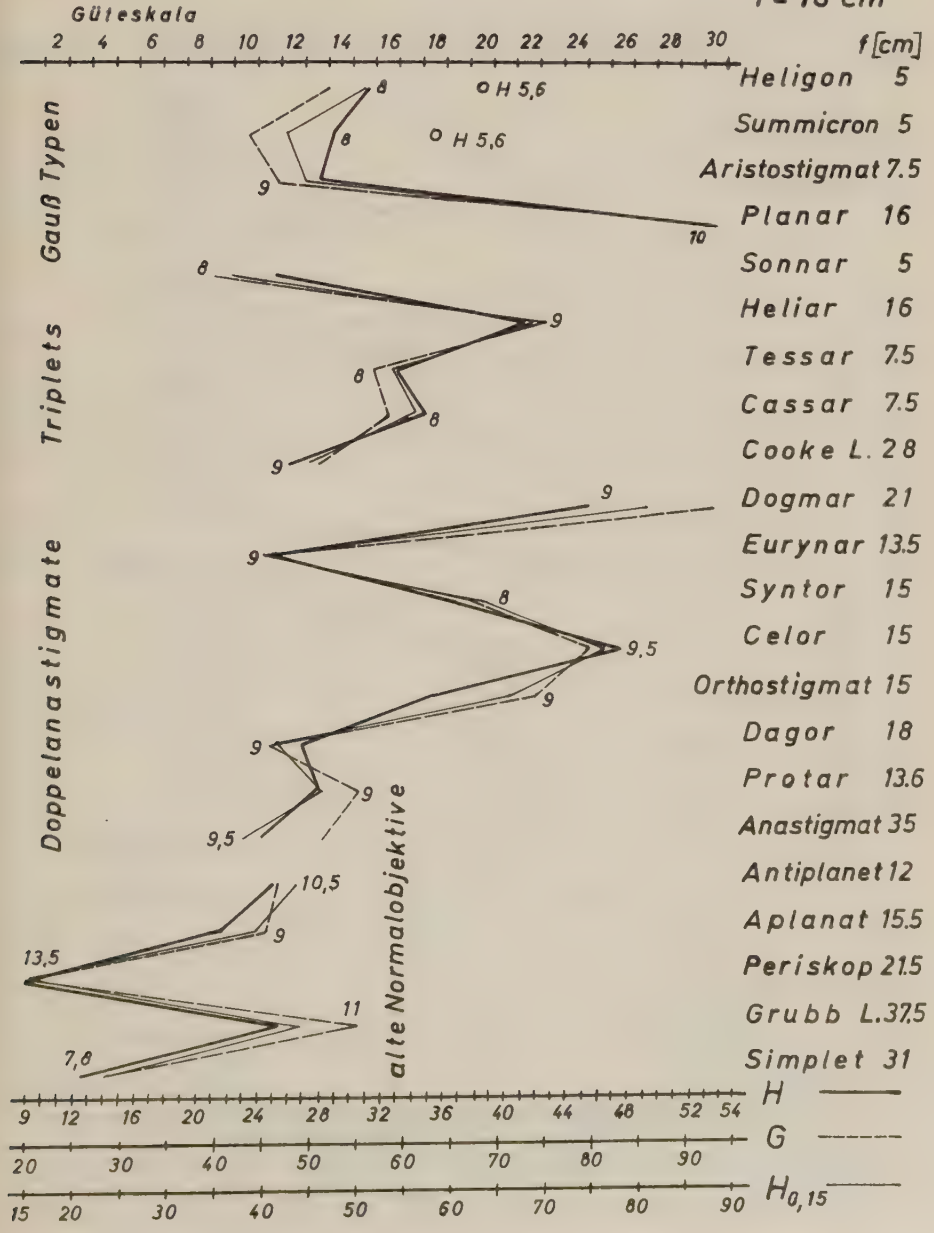
alten Objektive im Vergleich zu den Doppelanastigmaten und Triplets relativ schlecht bewertet werden. Auch für die Gauß-Typen hätte man ein besseres Abschneiden erwartet. Bei ihnen macht sich jedoch auch bei diesem Kriterium bemerkbar, daß die Kleinbildobjektive ihre beste Leistung bei größeren Öffnungen als den im Vergleich verwendeten erreichen. Die Werte für Blende 5,6 sind beim Summicron und Heligon daher ebenfalls angegeben. In diesem Falle werden diese beiden Objektive nach dem FRANKE'schen Kriterium am besten bewertet.

Die Weiterentwicklung im Objektivbau, wie sie sich in immer besseren axialen Übertragungsfunktionen äußert, ist also auch hier zu erkennen. Als Vorteil dieses Kriteriums gegenüber den anderen erweist sich sein weiterreichender Gültigkeitsbereich. Man benötigt im Gegensatz zu den anderen Kriterien keine Brennweitenreduktion und gerät daher auch mit der Beugung nicht in Konflikt.

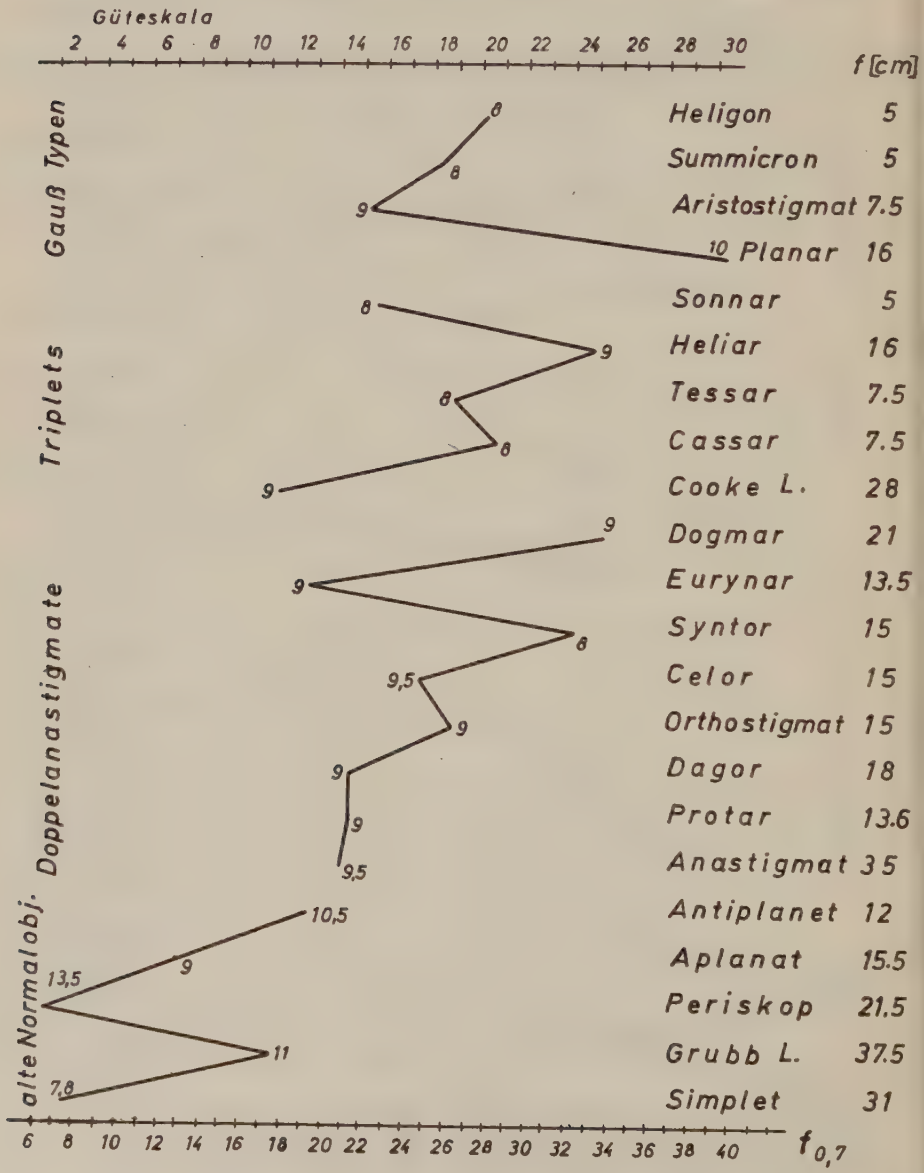
Weitere Versuche, zwischen den verschiedenen Gütezahlen einfache Korrelationen herzustellen, brachten, wie erwartet, kein Ergebnis, da jedes der Kriterien die Abbildungsleistung anders bewertet.

Wenn auch aus den eben gemachten Ausführungen hervorgeht, daß die Gütezahlen der fortlaufenden Entwicklung der Objektive noch weniger gerecht zu werden scheinen als die axiale MÜF, so wäre doch noch zu prüfen, ob die Berücksichtigung weiterer Faktoren, wie der außeraxialen Abbildungseigenschaften und der von KUBOTA (34) angegebenen 80 % Grenze der Schärfentiefe, einen Vorteil bedeutet. Eine solche Prüfung war aber beim Zustand der meisten historischen Objektive nicht möglich.

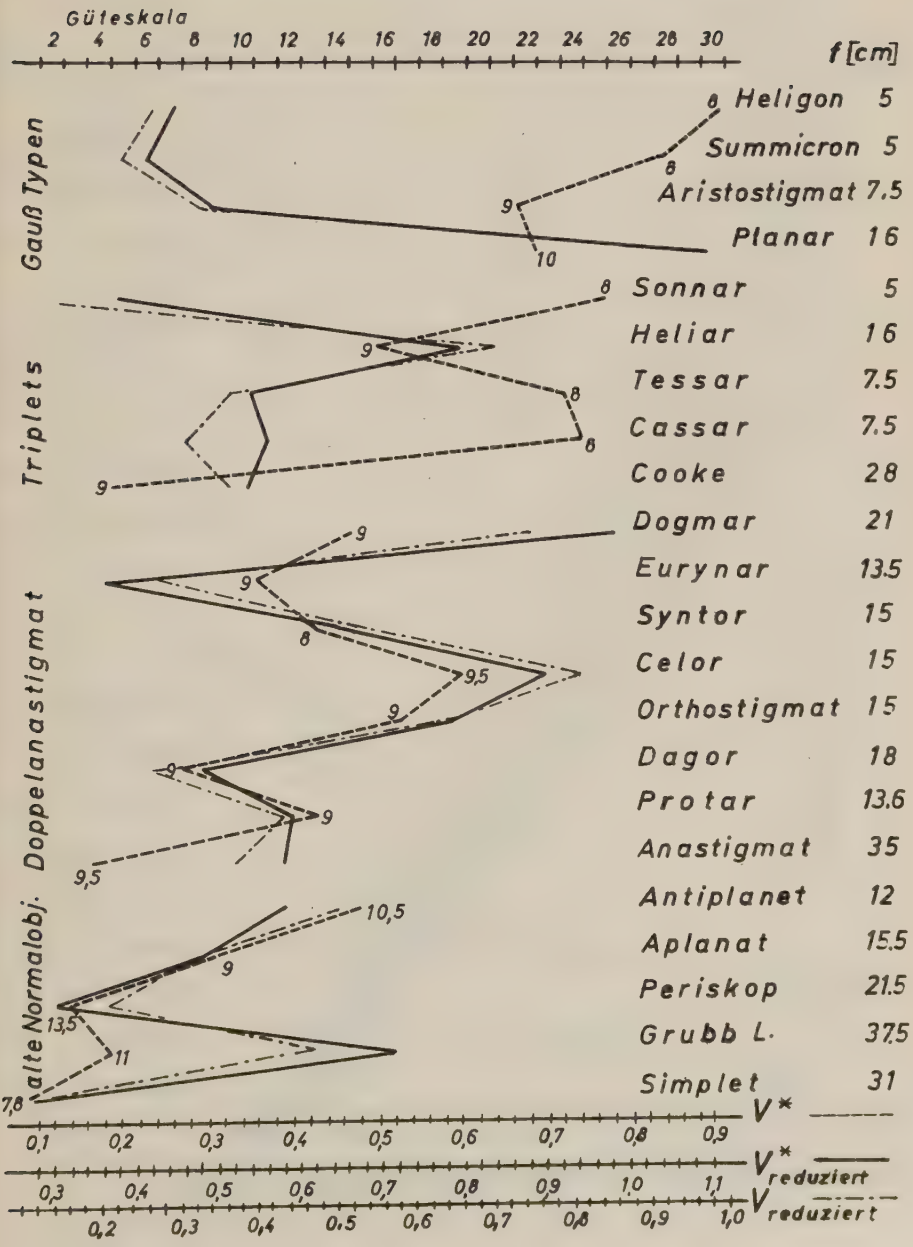
Gütezahlen H, $H_{0,15}$ u. G für reduzierte Brennweite $f = 10$ cm



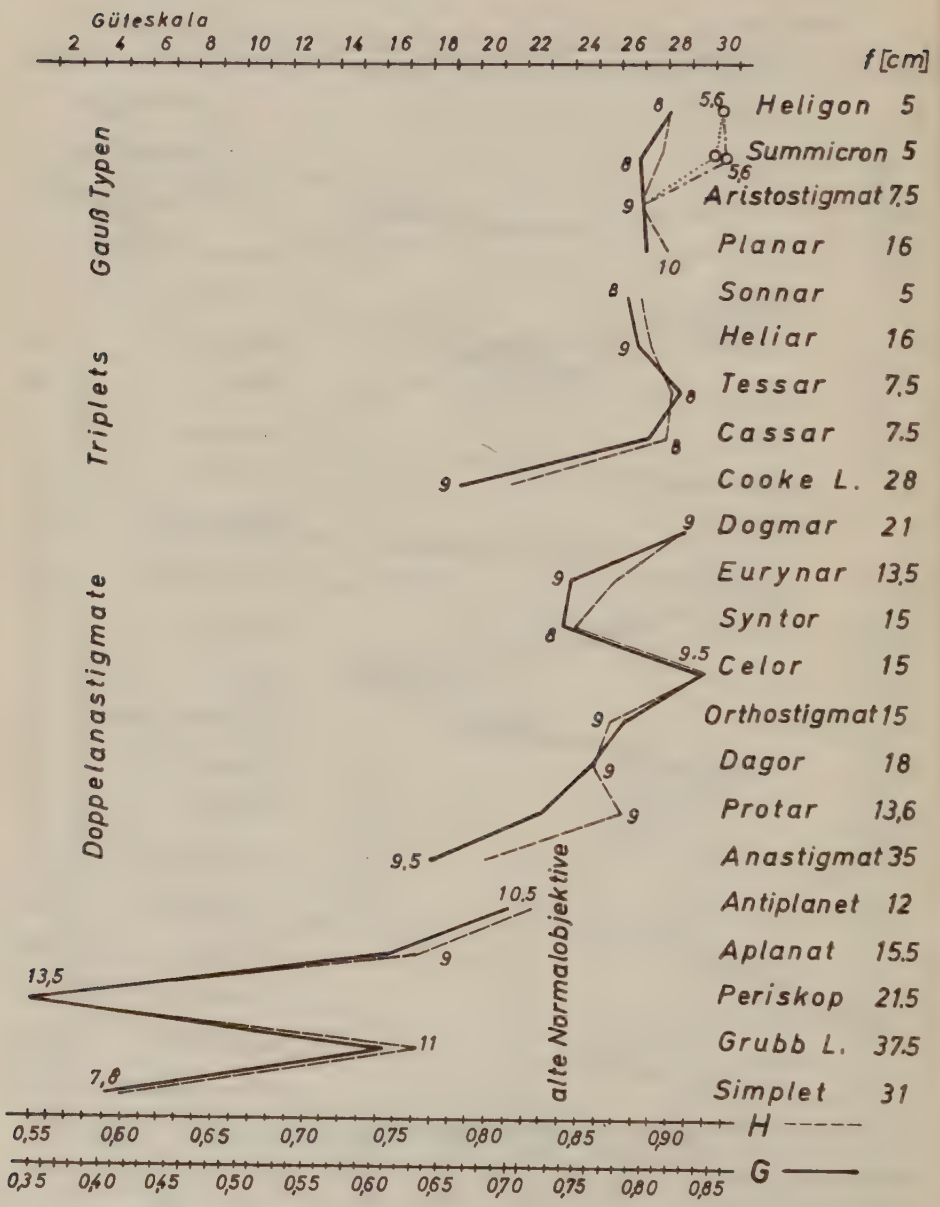
Gütezahl $f_{0,7}$ nach Kämmerer (red. Brennweiten)



Definitionshelligkeit

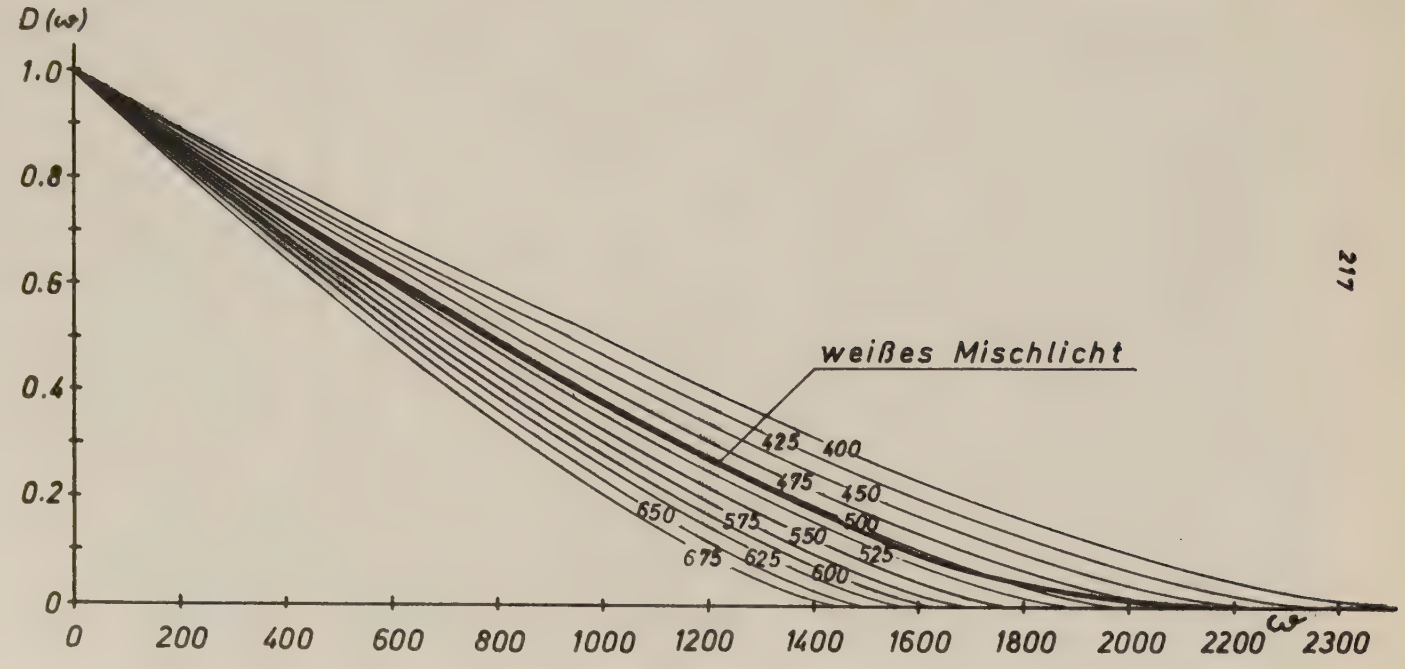


Gütezahlen H und G nach Franke



MÜF bei reiner Beugung in Abhängigkeit von ω

($\frac{\omega}{B} = f$; B = Blendenzahl)



LITERATURVERZEICHNIS

1 Lohmann, A., Optik 14 (1957), S. 510

2 Lohmann, A., Optica Acta 6 (1959), S. 37

3 Pulvermacher, H.H., Diss. 1966, Universität München

4 Born and Wolf, Principles of Optics, Pergamon Press 1965

5 Duffieux, P.M., L'intégrale de Fourier et ses applications à l'optique, Besançon (1946)

6 Schade, O.H.

7 NBS - Circular 526, Washington (1954), p.231
RCA Rev. 9 (1948), p. 245 and p. 490

8 J. Soc. Motion Picture Engrs. 64 (1955), p. 593

9 Linfoot, E.H., J.O.S.A. 45, (1955), S. 808

10 Lukosz, W., a) Optik 14 (1957), S. 490
11 Lukosz, W., b) Optica Acta 5 (1958), S. 299
Sonderheft (Coll. Intern. Télévision Paris 1957)

12 Franke, G., Photographische Optik, Akad.Verlagsgesellschaft F.a.M. 1964

13 Röhler, R., Informationstheorie in der Optik, Wissenschaftliche Verlagsges. M.B.H. Stuttgart 1967

14 Higgins, G.C., Appl. Optics Band 3 1964, S. 1

15 Kelly, H.D., J.O.S.A. 50, 1960, S. 269

16 Frieser, H., Appl.Optics Band 3, 1964, S. 15

17 Frieser H. - Kramer H., Photographische Korrespondenz Band 102, Nr. 5, 1966, S. 69

18 Simonds, J.L., Kelch, J.R., Higgins, G.C., Applied Optics Bd. 3, 1964, S. 23

19 Linfoot, E.H., Optica Acta 9/1962, S. 81

20 Mc Glamery, E.H., J.O.S.A. 57, 1967, S. 293

21 Röhler, R., Optik 18, 1961, S. 500

22 Hauser, H., Optica Acta 9/1962, S. 121

23 Swing, R.E., Clay, J.R., J.O.S.A. 57/1967, S.1180

24 Pulvermacher, H., Optik 25/1967, S. 70

25 Franke, Georg, Optik 18/1961, S. 320

26 Lindberg, P., Optica Acta 1, S. 80 (1954)

27 Françon, M., Optica Acta 1, S. 50, 1954

28 Baker, L.R., Proc.Phys.Soc. B 68, S. 871/1955

29 Hopkins, H.H., Optica Acta 2, S. 23, 1955

30 Ingelstam, E., Djurle E., Sjögren, B.S., J.O.S.A. 46, 1956, S. 707

31 Kubota, H., Ohzu, H., J.O.S.A. 47, 1957, S. 666

32 Rosenhauer, K., Rosenbruch, K.J., Optica Acta 4/1957, S. 21

33 Barnstedet, G., Interne Mitteilung der Firma Jos. Schneider u.Co., Bad-Kreuznach (1960)

34 Kubota, H., Miyamoto, K., Murata, K., Optik 17, 1960, S. 143

35 Heynacher, E., Zeiss Mitt., 2.Bd., 1962, S. 349

36 Tsuruta, Tadao, J.O.S.A. 53/1963, S. 1156

37 Bäck, A., Transaction of the Royal Inst. of Techn., Stockholm 1963, Nr. 206

38 Rosenbruch K.J., Rosenhauer, K., Optik 21/1964, S. 652

39 Roth, Chr., Hausmitteilungen Jos.Schneider u.Co., Bad Kreuznach, Band 16, Heft 1 (1965), S. 14

40 Pulvermacher, H., Optik 23/1965-66, S. 88

41 Sapper, G.R., Pulvermacher, H., Optik 23/1965-66, S. 101

42 Mallick, S., Optica Acta 13/1966, S. 247

43 Bigelmaier, A., Schaefer, K.D., Wasmund, H., Optik 26/1967, S. 465

44 Diehl, H., Diplomarbeit, Institut für med.Optik 1967

45 Schwabe, M., Diplomarbeit, Institut für med.Optik 1967

46 Hopkins, H.H., Proc. RoySoc.A.Vol. 231, 1955, S.91

47 Hopkins, H.H., Proc.Phys. Soc. B.Vol. 69, 1956, A. 562

48 Hopkins, H.H., Proc.Phys. Soc. B.Vol. 70, 1957, S. 449

49 Hopkins, H.H., Proc.Phys. Soc. B.Vol. 70, 1957, S. 1002

50 Black, G., Linfoot, E.H., Proc.Roy.Soc. A. Vol. 239/ 1957, S. 522

51 Barakat, R., J.O.S.A. 52/1962, S. 985 u. 992

52 Barakat, R. u. Houston, A., J.O.S.A. 55/1965, S. 1142

53 De M., Proc.Phys. Soc. A. Vol. 233/1957, S. 91

54 De M., und Nath, B.K., Optik 15/1958, S. 739

55 Lukosz, W., Optik 15/1958, S. 635

56 Rosenhauer, K., Rosenbruch, K.H. und Siems, H., Z.Instr. Kde 71 (1963), S. 14

57 Kubota, H., Sonderdruck, Japanese Computation Techniques fa optical Design (I), Evaluation of Photographic Lenses (I), Testing Photographic Lenses (II)

58 Rosenhauer, K., Rosenbruch, K.J., Sunder, F.A., Plassmann, Appl.Optics Bd. 5, 1/1966, S. 415

59 Focke, J., Optica Acta 4/1957, S. 17

60 Goodbody, A.M., Proc.Phys. Soc. London 72 (1958), S. 411 - 424

61 Goodbody, A.M., Proc.Phys. Soc. London 74, 1960, S. 677

62 Rosenhauer, K., Rosenbruch, K.J., Optica Acta 6, 1959, S. 234

63 Rosenhauer, K., Rosenbruch, K.J., Optik 17/1960, S. 249

64 Reichel, Werner, Jenaer Jahrbuch 1964

65 Heynacher, E., Köber, F., Sauer, H., Oberkorken, Camera News of West Germany, Vol. 5 Nr. 2 May 1963, New York

66 Rosenhauer, K., Rosenbruch, K.J., Optik 20, 1963, S. 121

67 Rosenhauer, K., Rosenbruch, K.J., Optik 25, 1956, S. 95

68 Linfoot, E.H., Optica Acta 1963 S. 77

69 Barnstedt, G., Optik 18, 1961, S. 499

70 Rosenbruch, K.J., Optik 16, 1959, S. 135

71 Scott, F., Hufnagel, R.E., J.O.S.A. 55, 1965, S. 1564

72 Schade, O., NBS-Circular, 526, Washington D.C. 1954, S. 26

73 Heynacher, E., Zeiss Mitt. 3, 1963, S. 32

74 Biedermann, Klaus, Diss. TH München 1965

75 Kämmerer, J., Diss. TU Berlin 1959

76 Flügge, J., Z.f.Inst.Kde. 46/1926, S. 333 u.S. 389

77 Huber, S., Z.

78 Hertel, J., Diss. TU Berlin 1963

79 Kroebel, W., Optik 18, 1961, S. 471

80 Hartmann, J., Physik. Verhandlungen 7, 5. Folge, 1956, S. 144

81 Higgins, G.C., Jones, L., J.Soc. Motion Picture Telev.Engr. 58, 1952, S. 277

82 Higgins, G.C., Wolfe, R.N., J.O.S.A. 45, S. 121/1955

83 Higgins, G.C., Lamberts, R.L., Wolfe, R.N., Optica Acta 6, S. 272/1959

84 Higgins, G.C., Wolfe, R.N., Lamberts, R.L., J.O.S.A. 46, S. 752/1956

85 Ronchi, V., J.O.S.A. 51/1961, S. 458

86 Carman, P.E., Charmen, W.N., J.O.S.A. 54/1964, S. 1121

87 Falconi, O., J.O.S.A. 57/1967, S. 987

88 Kottler, F., Perrin, F.H., J.O.S.A. 56/1966, S. 377,

89 Washer, Fr. E., J.O.S.A. 57/1967, S. 625

90 Kelly, D.H., Applied Optics, Vol. 4/1965, S. 435

91 Rayleigh, Lord, Sci.Pap.Vol I Nr. 62 /1879, S.415

92 Geiger, H., Scheel, K., Hd.B.für Physik, Bd.18, Geom.Optik, Springer Berlin 1927, S. 273

93 Strehl, K., Z.

94 Slevogt, H., Optica Acta 1, 1954-55, S. 21

95 Barakat, R., J.O.S.A. 55/1965, S. 572

96 Marechal, A. et Françon, M., Edition Revue d'Optique Paris 1960

97 O'Neill, E.L., Introduction to Statistical Optics Addison Wesley Publ.Co.Reading Mass. 1963

98 Hopkins, H.H., Optica Acta 13/1966, S. 343

99 Rosenhauer, K., Zeiss Mitt.Bd. 2, 1962, S. 410

100 Lukosz, W., Optica Acta Vol. 10. 1963, S. 1

101 Pulvermacher, H., Optik 22, 1965, S. 207

102 Slevogt, H., Optik 18/1961, S. 506

103 Higgins, G.C., Wolfe J., J. Soc. Met.Picture Telev. Engr. 65/1965, S. 26

104 Linfoot, E.H., J.O.S.A. 46/1956, S. 740

105 Linfoot, E.H., Optica Acta 4, 1957, S. 12

106 Linfoot, E.H., Optica Acta 5, 1958, S. 1

107 Linfoot, E.H., Qualitätsbewertung optischer Bilder Vieweg u. Sohn, Braunschweig 1960

108 Franke, G., Optik 23, 1965-66, S. 20

109 Steinheil, A. und Voit, E., Handbuch der angewandten Optik, I. Band, Voraussetzungen für die Berechnung optischer Systeme und Anwendung auf einfache und achromatische Linsen

110 v. Rohr, Moritz, Theorie und Geschichte des Photographischen Objektivs Berlin, Verlag von Julius Springer 1899

111 Flügge, J., Das Photographische Objektiv, Springer-Verlag Wien, 1955

112 Harting, H., Photographische Optik, IV, Aufl.1952 Akad.Verlagsgesellschaft Geest u. Portig KG Leipzig

113 Brandt, H.M., Das Photo-Objektiv, Friedrich Vieweg u. Sohn, Braunschweig 1956

114 Grittner, R., Handbuch der Kamerakunde, 8. Aufl., Verlag Luitpold Lang, München, 1958

115 Schober, H., Photographie und Kinematographie Herausgeber Herbert Schober, Verlag Kurt Wesemeyer, Hamburg 1957

116 v. Joeden, D., Diplomarbeit, Institut für Medizinische Optik (1964)

117 Sapper, G.R., Diplomarbeit, Institut für Medizinische Optik (1965)

118 Swing, R.E., Clay, J.R., J.O.S.A. 57 /1967, S. 1180

119 Hauser, H., Optica Acta Vol. 9, 1962, S. 122 u. S. 141

120 Rosberry, F.W., Appl.Optics Vol. 4, 1965, S. 21

121 Diederichs, E., Lohmann A., Optik 15, 1958, S.751

122 Keprt, J., Optik 25, 1967, S. 502

123 Barakat, R., Kitrosser, Elena, J.O.S.A. 55/1965, S. 570

124 Franke, Georg, Optica Acta 6, 1959, S. 308

125 Kämmerer, J., Optik 14, 1957, S. 399

126 Buchdahl, H.A., J.O.S.A. 51, 1961, S. 608

127 Eder, J.M., Die photographischen Objektive, Verlag Wilhelm Knapp 1911, Halle a.S.

128 Blumová, V., Optik 23 /1965-66, S. 237

129 Kuttner, P., Applied Optics Vol. 7 /1968, S.1029

130 Recht, Camille, Die alte Photographie, Henri Jouquiers Paris u. Leipzig 1931

131 Gernsheim, H., The History of Photography, Oxford University Press 1955

132 Loher, R., Carl August von Steinheil, Druck J.B. Lindl, München 1937

Meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. phil. Dr. med. Herbert SCHOBER, gilt mein herzlichster Dank für die Überlassung des Themas dieser Arbeit sowie für die Förderung, die er ihr stets angedeihen ließ.

Herrn Privatdozent Dr. RÖHLER und Herrn Dr. BOSEK möchte ich für ihre anregenden Diskussionen danken,

ebenso Herrn Dr. HARTMANN für seine Unterstützung beim Bau der Apparatur und Herrn Dipl. Phys. SCHWABE, der hierbei eine ideale Zusammenarbeit ermöglichte.

Sehr dankbar bin ich auch den Herren WOLF, FICHTLER und BOHMANN von den Institutswerkstätten, die mit ihrer Hilfsbereitschaft wesentlich zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben.

Auch allen Leihgebern der historischen Objektive, besonders dem DEUTSCHEN Museum und dem FOTOMUSEUM in München, bin ich dankbar verbunden, speziell Herrn Dr. WIESNER für sein vielfaches Entgegenkommen.

Den Firmen Emil BUSCH GmbH., JENOPTIK GmbH., Jena, Ernst LEITZ GmbH., Optische Werke RODENSTOCK, Optische Werke STEINHEIL, VOIGTLÄNDER AG., Carl ZEISS Oberkochen, die Objektive und nähere Angaben über die gemessenen Prüflinge zur Verfügung stellten, möchte ich ebenfalls meinen besten Dank aussprechen.

LEBENSLAUF

Am 18. Mai 1939 wurde ich als Sohn des Universitätsprofessors Dr. med. Friedrich Diehl und seiner Frau Dr. med. Hermine Diehl, geb. Neumann, in München geboren. Ich besuchte die Volksschule in Ammerland und München.

Nach der 4. Klasse trat ich in das humanistische Theresiengymnasium in München ein, wo ich im Juni 1958 das Abitur ablegte.

Im Herbst desselben Jahres begann ich an der Universität München das Studium der Physik. Wegen eines schweren Autounfalls legte ich die Diplomvorprüfung erst im Juni 1963 ab.

Die Diplomarbeit "Experimentelle Untersuchungen zur Messung der Modulationsübertragungsfunktion (MÜF) nach dem Moiré-Verfahren" führte ich unter Anleitung von Herrn Professor Dr. Dr. H. Schober am Institut für Medizinische Optik durch.

Die Diplomprüfung bestand ich im Dezember 1967.